

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

O ESTUDO DA APLICAÇÃO DA ROTARY FRICTION WELDING (FRW) NA UNIÃO DE MATERIAIS DISSIMILARES EM PEÇAS AUTOMOTIVAS

Luis Roberto Kanashiro^{1,2}, luisrok@hotmail.com
Givanildo Alves dos Santos¹, givanildo@ifsp.edu.br
Francisco Yastami Nakamoto¹, nakamoto@ifsp.edu.br

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rua Pedro Vicente, 625 – São Paulo/SP

²Faculdade de Tecnologia de Santo André, Rua Prefeito Justino Paixão, 150 - Santo André/SP

Resumo: A viabilidade da utilização da solda por atrito na junção de ligas de alumínio com ligas de aço para fabricação de peças automotivas tem como objetivo a diminuição do peso da peça sem acarretar a perda das propriedades mecânicas. Neste trabalho serão produzidos corpos de provas unidos pela solda por atrito de materiais dissimilares (aço e alumínio) em um equipamento de solda por atrito rotativo. Posteriormente esses corpos de provas serão submetidos aos testes mecânicos destrutivos e não destrutivos e análises metalográficas e o resultado esperado será a manutenção das propriedades mecânicas a no mínimo um dos metais envolvidos com esse processo de solda.

Palavras-chave: solda por atrito, ligas de alumínio, peças automotivas, diminuição de peso, propriedades mecânicas

1. INTRODUÇÃO

O Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Auto Motores (INOVAR-AUTO), uma medida adotada pelo Governo Federal, tem como objetivo estimular o investimento na indústria automobilística nacional que, em contrapartida, concede benefícios em relação ao Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para as empresas que estimularem e investirem na inovação, na pesquisa e no desenvolvimento dentro do Brasil Inovar Auto. (2015), tal iniciativa visa contribuir no desenvolvimento de novos produtos para o mercado automobilístico nacional e, que por sua vez, criar novas demandas nos diversos níveis da cadeia produtiva. Entretanto, para que as indústrias tenham acesso ao incentivo oferecido pelo Governo Federal, devem cumprir uma série de metas pré-estabelecidas. Uma das metas deste programa que possui um alto impacto sobre todos os níveis do sistema produtivo é a questão da eficiência energética dos produtos industriais. Consequentemente, repensar nos processos produtivos atuais requer o desenvolvimento inovador da engenharia de produto, utilizando novos materiais, aperfeiçoar os processos de fabricação na busca da eficiência e eficácia, visando também a redução dos custos industriais, além da necessidade de rever os processos de gestão em todos os níveis do processo produtivo, uma vez que o volume de informações geradas, armazenadas, processadas e distribuídas cresce a disponibilidade de novas inovações tecnológicas.

Atualmente, a indústria automobilística tem oferecido soluções inovadoras mediante emprego de ligas de alumínio em peças estruturais dos veículos como uma das primeiras alternativas para a redução do peso próprio, consequentemente permitindo a redução do consumo de combustível. Verifica-se um crescimento acelerado do uso de chapas de alumínio em partes estruturais de veículos de passeio – como capô, teto, portas – em países da Europa e EUA, principalmente. A utilização do alumínio em automóveis no Brasil é estimada em 45 quilos por unidade, sendo que na Europa esse número sobe para 150 quilos. Soares. (2014). Por outro lado, a viabilidade econômica não permite a utilização somente das ligas de alumínio, sendo que a utilização de dois ou mais materiais dissimilares está se tornando uma solução atrativa do ponto de vista da fabricação das peças automotivas, uma vez que se permite o emprego das propriedades físicas e mecânicas de diversos materiais na confecção de um componente, conforme apresentado na Fig. 1.



Figura 1 – Haste de suspensão liga de alumínio/liga de alumínio, eixos de transmissão com aço de baixo carbono / médio carbono e insuflador de airbag com liga de alumínio/liga de alumínio.).

Fonte: site www.mtiwelding.com/parts_sample/automotive, 2015

Neste caso, a questão do desenvolvimento de novos processos de fabricação que atendam a esta demanda são fundamentais. O processo de união de materiais dissimilares mediante o emprego da solda por atrito tem sido fontes de pesquisas pela indústria automotiva. A indústria automobilística tem instalado um grande número de máquinas de solda por atrito rotativo ou *Rotary Friction Welding* (FRW) para a produção de partes em que pelo menos um componente tem simetria de rotação. Estes são, por exemplo, eixos traseiros, eixos e engrenagens que têm altas exigências de alinhamento e concentricidade. As válvulas de escape e admissão bi metálicas do motor, componentes da caixa de engrenagens são outras peças automotivos típicos soldados com este processo conforme apresentado na Fig. 2. Mesmo os aros das rodas de liga de alumínio estão sendo fabricados mediante processo de solda por atrito na produção em massa. Grünauer. (1999). Muitas vezes, mais do que uma solda pode ser efetuada simultaneamente, por exemplo, para unir tubos redondos em perfis quadrados ocios na fabricação de conjuntos estruturais de veículos. Behrmann. (1999).



Figura 2 – Eixo traseiro com aço médio carbono /médio carbono, válvulas bi metálicas de motores com liga de níquel /aço carbono e aros das rodas de alumínio com ligas de alumínio/ligas de alumínio

Fonte: adaptado site www.mtiwelding.com/parts_sample/automotive, 2015

2. SOLDA POR ATRITO

2.1. Histórico

A solda por atrito, também conhecida como solda por fricção, utiliza de duas superfícies de contato, mediante aplicação de uma força de recalque, unindo-as sem nenhuma substância lubrificante entre eles. Há muito tempo é de conhecimento geral que a fricção de superfícies rugosas entre si gera calor devido ao atrito. O registro sobre sua utilização para unir metais é conhecido a partir de 1891, quando a primeira patente deste método de união foi autorizada nos Estados Unidos. Em 1929 foi registrada a primeira patente alemã e no período de 1941 a 1944 a Inglaterra desenvolveu e registrou uma série de patentes sobre este processo. Silva. (2015). Em 1956, a outrora União Soviética, também registrou seu desenvolvimento, graças a uma patente britânica de 1939 e nos Estados Unidos foram feitas inovações, de tal maneira que o processo modificado foi patenteado em 1966. Stotler. (1994).

Na década de 60, os avanços na soldagem por atrito foram favorecidos pelo interesse de diversas empresas americanas em desenvolver esta técnica, como a *American Machine and Foundry (AMF)*, *Caterpillar* e a *Rockwell International*, esta última construiu máquinas para soldar eixos de caixas de engrenagem para caminhões. A AMF produziu máquinas para soldar árvores sem-fim, enquanto a *Caterpillar* investiu em máquinas para soldar turbos compressores e cilindros hidráulicos para tratores. Cardoso. (2010).

2.2. Processo de Solda Por Atrito

O método de solda por atrito FRW baseia-se na conversão direta da energia mecânica para energia térmica, através do movimento relativo das superfícies a serem unidas, sem aplicação de calor de qualquer outra fonte. Sendo que, sob

condições normais, não há fusão na interface de contato. A Fig. 3 apresenta uma solda por atrito FRW típica, em que uma peça estacionária é mantida em contato contra outra peça giratória sob pressão até a interface atingir a temperatura de solda. A velocidade de rotação, a pressão axial e o tempo de solda são as principais variáveis a serem controladas para obter a combinação necessária de temperatura e pressão para realizar a união das partes. Estes parâmetros são ajustados de maneira que a interface seja aquecida até a faixa de temperatura plástica adequada para a solda. Uma vez atingido o valor, uma pressão maior é exercida para promover a difusão atômica entre as partes, permitindo a união metalúrgica entre ambas as partes. As impurezas internas são expulsas para as rebarbas formadas externamente pelo excesso de material e podem ser removidas posteriormente mediante processo de torneamento. Elmer. (1994).

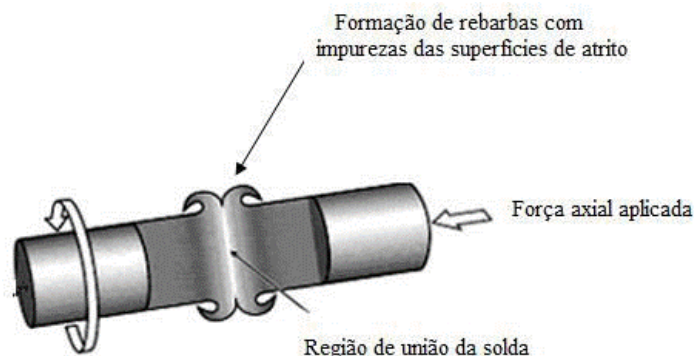


Figura 3 – Representação de uma solda por atrito rotativa para união de dois materiais.

Fonte: Adaptado de Thomas (2001).

O processo de solda por atrito FRW permite unir peças do mesmo material ou materiais diferentes, ou seja, os materiais dissimilares de diferentes microestruturas, bem como com diferentes propriedades térmicas e mecânicas que são impossíveis de serem soldados pelos métodos convencionais conhecidos, com exceção os materiais de baixo coeficiente de atrito que não podem ser soldados por esse processo. Wainer *et al.* (2011). A solda rotativa por atrito pode ser dividida em: (i) solda por atrito contínuo, (ii) solda por atrito inercial. Como descrito previamente, no processo da solda por atrito a energia empregada está relacionada com a energia de atrito entre a superfície de contato das peças a serem unidas, através do movimento rotativo a certa velocidade angular. No método da solda por atrito contínuo esse movimento angular é proveniente diretamente de um motor que para totalmente no instante em que a força de recalque final é aplicada para finalizar o processo da união das peças Fig. 4 a. As seguintes etapas são descritas: (A) Período de aproximação; (B) Aplicação de pressão inicial a um tempo pré-estabelecido; (C) Término de aplicação de pressão inicial e frenagem da máquina; (D) Aplicação de pressão de recalque final a um tempo pré-estabelecido e término da soldagem Fig. 4a e Fig. 4b.

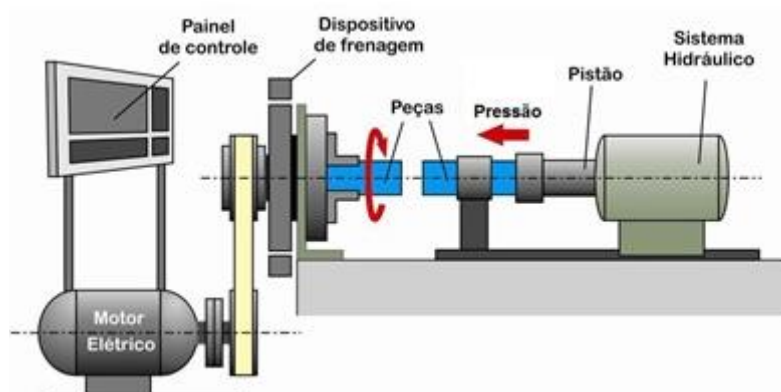


Figura 4 a – Esquema de um equipamento de solda por atrito contínuo Fonte: adaptada de Alves (2010).

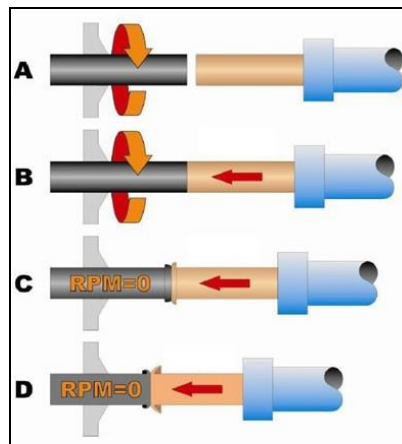


Figura 4 b – Etapas do processo de soldagem por atrito contínuo:
Fonte: adaptada de Alves (2010).

No método da solda por atrito inercial, o motor transfere inicialmente toda a energia a ser utilizada no processo da solda para um componente denominado volante, fazendo com que o movimento rotativo diminua gradualmente até a completa imobilização quando a força de recalque é aplicada para finalizar o processo da união das peças Fig. 5 a. As seguintes etapas são descritas: (A) Período de aproximação; (B) Desligamento do motor e aplicação de pressão inicial; (C) Redução da velocidade angular através da aplicação de pressão maior ao anterior; (D) Término da soldagem com velocidade angular zero e pressão zero, conforme fig. 5a e fig. 5b.

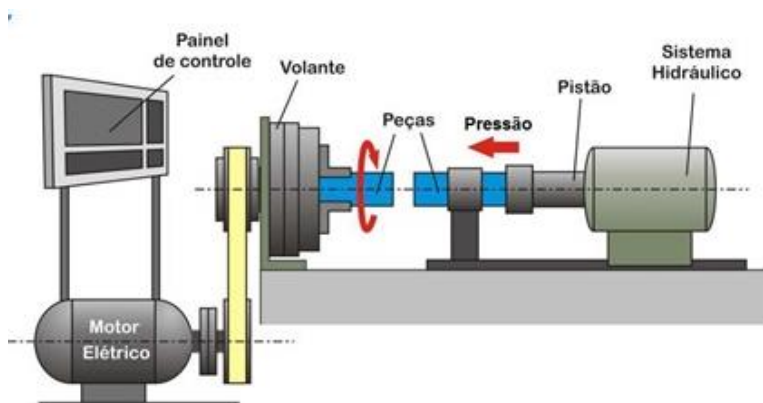


Figura 5 a – Esquema de um equipamento de solda por atrito inercial Fonte: adaptada de Alves (2010).

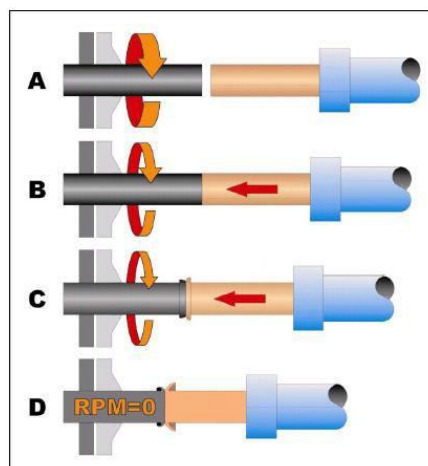


Figura 5 b – Etapas do processo de soldagem por atrito inercial
Fonte : adaptada de Alves (2010).

2.3. Comparações entre os dois métodos de solda por atrito rotativa

A tabela 1 apresenta uma comparação dos dois métodos de solda por atrito em seus principais fatores que influenciam suas características.

Tabela 1 – Grau de Soldabilidade de Materiais pelo Processo de Solda por Atrito.
Fonte: Wainer *et al.* (2011)

Característica	Inercial	Contínuo
Variáveis do processo	Velocidade relativa Pressão Inércia do volante	Velocidade Relativa Pressão (aquecimento) Tempo de aquecimento Pressão (forjamento) Tempo de forjamento
Tempo de soldagem	Menor (10% do tempo do processo convencional.	Maior
Energia de soldagem	Maior (23-174 W/mm ²)	Menor (12-47 W/mm ²)
Torque no Atrito	Maior	Menor
Tamanho da (ZTA) Zona Termicamente Afetada	Menor	Maior
Resistência da solda	Maior (Linhas de fluxo espiraladas)	Menor (Linhas de fluxo radiais)
Fixação das peças	Garra do mandril com alta eficiência para resistir a torques elevados e evitar a rotação da peça.	Garra do mandril normais
Equipamento	Robusto para resistir a elevadas cargas axiais.	Pode ser projetado para operações portáteis.

As linhas de fluxo do escoamento plástico que influenciam na resistência da solda são diferentes nos dois métodos. No processo de soldagem contínuo, as linhas de fluxo são radiais pelo fato das mesmas estarem praticamente imóveis durante a aplicação da pressão final sobre a junta. No processo de soldagem por atrito inercial, as linhas são espiraladas, pois a pressão é aplicada com a peça ainda em movimento radial, Wainer *et al.* (2011), conforme apresentado na Fig. 6.

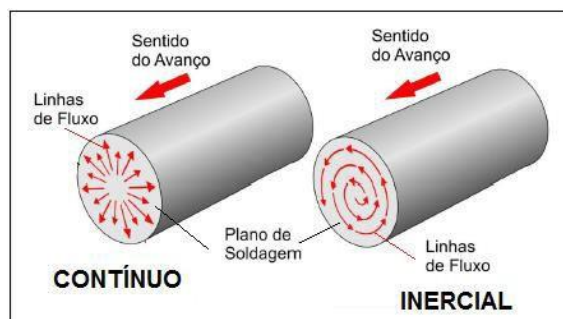


Figura 6 – Linhas de fluxo de escoamento plástico nos dois métodos da solda por atrito. -
Fonte: Adaptado de Wainer *et al.* (2011).

2.4. Trabalhos de Pesquisas Relacionados à Solda por Atrito

Diferentes estudos de soldagem por atrito foram realizados por vários pesquisadores e estudiosos na área: Vill. (1962), Tylecote. (1968), Jennings. (1971), Lucas. (1971), Kinley. (1979) e Fomichev. (1980) abordam estudos sobre soldagem por atrito. Ellis. (1977) examinou as relações entre fricção x diâmetro da peça x tempo, pequena pressão de recalque e variação de carbono e dureza equivalente. Dunkerton. (1986) investigou o efeito da velocidade de rotação, pressão de atrito e a pressão de recalque em todos os métodos de soldagem de atrito para o aço. Em Ylmaz *et al.* (2003) foram investigadas as propriedades da interface dos componentes da solda por atrito do alumínio e aço. Akata e Sahin (2003) realizaram um estudo sobre o efeito das diferenças dimensionais em soldagem por atrito de uma liga AISI e liga de aço 1040. Sahin e Akata. (2003) investigaram a união de aço de cementação deformado plasticamente com solda por atrito. Um estudo experimental em solda de atrito de uma liga de aço carbono médio e componente de aço inoxidável austenítico foi feito pelos mesmos autores Sahin e Akata. (2004). Sahin. (2004) desenvolveu uma simulação dirigida para a solda por atrito usando um programa de computador.

3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SOLDA POR ATRITO

As principais vantagens da solda por atrito são:

- O processo não exige metal de solda;
- Os metais não chegam a ser fundidos, evitando os efeitos da solidificação, segregação e porosidade;
- Solda de materiais que são impossíveis nos processos tradicionais;
- A zona termicamente afetada é relativamente estreita;
- Por não haver ignição, podem ser utilizadas em área de risco;
- Propriedades mecânicas iguais ou superiores aos metais componentes;
- O custo de operação é baixo e pode ser facilmente automatizado;
- O processo de soldagem pode ser controlado a distância.

Em contrapartida, destacam-se as seguintes desvantagens:

- Limita-se à soldagem de juntas de topo planas, angulares e cônicas;
- Um dos materiais deve ser plasticamente deformável;
- O atrito e aquecimento das peças deve ser preciso;
- O custo das máquinas e das ferramentas é relativamente alto;
- As ligas usinadas são difíceis de serem soldadas;
- Não pode soldar peças de ferro fundido, pois o grafite atua como lubrificante;
- Aços com inclusões de sulfeto de manganês causam formações de áreas frágeis na solda.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Materiais

Os materiais que serão utilizados nessa presente pesquisa são a liga de alumínio AA 6351 T6 (0,40% Mg, 0,50% Fe, 0,10% Cu, 0,40% Mn, 96,5% Al, 0,20% Zn, 0,20 Ti, 0,70% Si, 0,05% Outros) e o aço carbono SAE 1020 com composição química aproximada (0,20% C , 0,25% Si, 0,45 Mn, 0,04% S, 0,04% P), Barras de dimensões brutas para posterior confecção do corpo de prova.

4.2. Métodos

4.2.1. Confecção dos Corpos de Prova (CP)

Os Corpos de Prova (CP) do Alumínio e do Aço serão usinados em torno mecânico convencional com CP de Alumínio nas dimensões: diâmetro de 15,0 mm e comprimento de 110 mm o CP de aço nas dimensões: diâmetro de 15,0 mm e comprimento de 100 mm com furo central de 3 mm de diâmetro e comprimento de 99,88 mm para introdução do termopar Tipo K. A rugosidade superficial será em torno de 3,2 μm que é uma rugosidade superficial obtida em máquinas operatrizes comuns durante o processo de usinagem. O CP de Alumínio terá um comprimento maior em 10 mm em relação ao CP de Aço para compensar a redução esperada do seu comprimento durante o processo de soldagem.

4.2.2. Limpeza e Preparação dos Corpos de Prova (CP)

As superfícies dos CP's cilíndricos serão limpas com acetona pura e secas com um pano de algodão momentos antes do início do processo de soldagem para eliminar possíveis elementos contaminantes, como óleos, graxas, fluidos decorrentes da usinagem, entre outros que possam interferir nos resultados dos testes de soldagem. Para a manipulação dos CP's durante a realização da limpeza, preparação das superfícies, fixação e posicionamento no equipamento de soldagem serão utilizadas luvas de silicone descartáveis.

4.2.3. Equipamento a ser Utilizado na Solda por Atrito Rotativa

O equipamento para realização do processo de soldagem por atrito FRW é baseado em um torno mecânico convencional, marca ROMI modelo S20, modificado e adaptado na estrutura, com a adição de novos componentes hidráulicos e de instrumentação, conforme apresentado na figura 7. O controle dos parâmetros principais, tais como, pressão de atrito (P1), tempo de atrito (t1) e pressão de recalque (P2) serão controlados pelo Programa implementado em Visual C# e a placa controladora dedicada baseada na arquitetura Microchip 18F4550. A velocidade de rotação será fixa em torno de 1.410 rpm, bem como o tempo de recalque fixo em $t_2 = 12$ s.

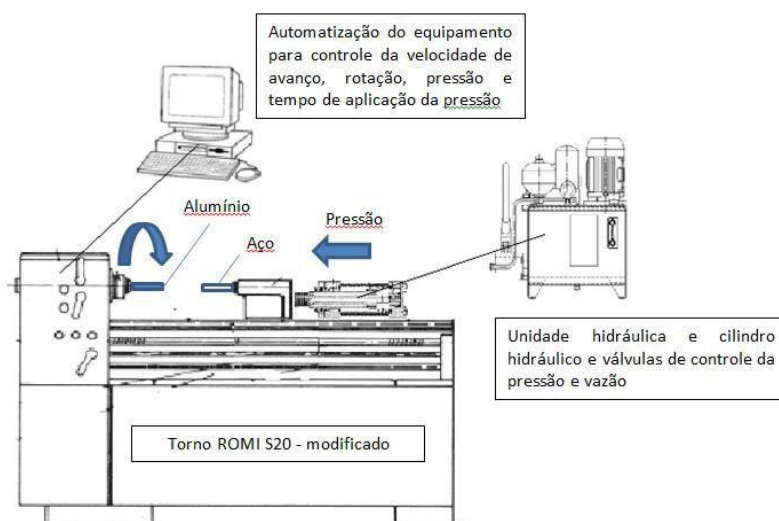


Figura 7 – Torno mecânico ROMI S20 transformado em equipamento de solda por atrito rotativo

4.2.4. Procedimento da Solda por Atrito Rotativa na União da Liga de Alumínio e do Aço

Os procedimentos para a realização da solda por atrito rotativo (FRW) serão realizados conforme apresentado por Sahin. (2009). Isto se faz necessário em razão da necessidade de padronização de alguns parâmetros para a comparação experimental futura, uma vez que não há normalização estabelecida para o processo em questão. A seguir é apresentada a tabela com os dados para a realização do experimento.

Tabela 2 – Resultados Experimentais. Fonte: Sahim (2009).

Experiência no	Pressão de atrito - P1 (MPa)	Tempo de Atrito - t1 (s)	Pressão de Recalque – P2 (MPa)
1	30	3	65
2	18	7	40
3	30	4	60
4	30	5	60
5	24	6	50
6	18	6	45
7	18	5	50
8	24	4	60
9	24	7	45
10	30	9	45

Ilustração esquemática do processo de soldagem dos CP de Alumínio e Aço conforme Fig.8.

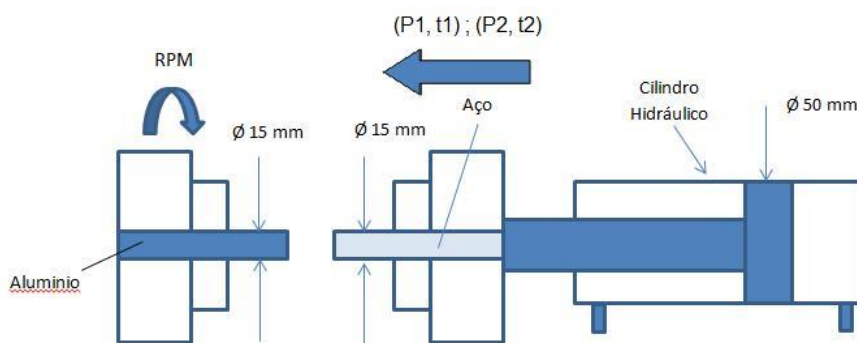


Figura 8 – Ilustração esquemática do processo de soldagem

4.2.5. Monitoramento da Temperatura de Solda

Como a temperatura na interface da união dos materiais pesquisados está diretamente relacionada com as características da Zona Termicamente Afetada (ZTA) e com a resistência mecânica das junções obtidas pelo processo de solda por atrito rotativa, o seu monitoramento de forma experimental é de extrema importância para a compreensão das características desse processo Misirli. (2012), visto a grande dificuldade de se obter esses valores de forma precisa por métodos analíticos em função da sua complexidade e do grande número de variáveis envolvidas.

Para aquisição dos dados será utilizado um sistema Termopar / Termômetro com *Data Logger*, da marca Lutron modelo TM-947SD que armazena em tempo real os dados da temperatura para confecção posterior de gráficos e tabelas e o termopar do tipo K (cromel-alumel) aferido e calibrado, da marca ECIL, posicionado no lado do CP de aço a uma distância de 0,12 mm da interface do CP de alumínio AA 6351 T6 Fig. 9a. O termopar será inserido no CP de aço utilizando-se uma pasta térmica da marca IMPLASTEC para melhorar a transmissão de calor entre a superfície interna do CP e o termopar Fig. 9b.



Figura 9a – Termopar Tipo K e Termômetro com Data Logger e Pasta Térmica

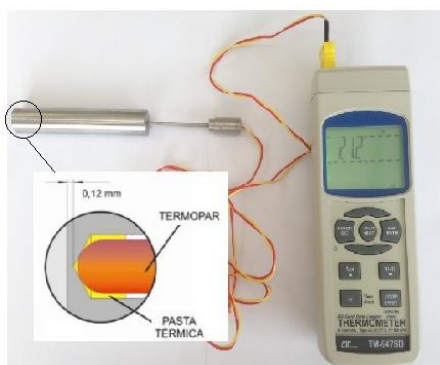


Figura 9b – Termopar Tipo K inserido no Corpo de Prova de aço e Termômetro com Data Logger

5. RESULTADO ESPERADOS

5.1. Resultados

O resultado esperado será a união na fase sólida abaixo do ponto de fusão dos materiais dissimilares a serem unidos, ocorrendo à transformação plástica da estrutura metálica. Consequentemente os benefícios gerados, incluem: ligas metálicas com microestruturas refinadas, pouca distorção, nenhuma porosidade, a não necessidade de materiais adicionais para a solda e a capacidade de unir o alumínio e o aço que não eram possíveis pelo método tradicional de solda por fusão.

Serão realizados ensaios mecânicos de tração para verificação da resistência mecânica da união do Alumínio e o Aço, conforme a norma ASTM – E8M, ensaios de Microdureza Vickers (HV) na região da união do Alumínio e do Aço verificando se houve ou não a alteração da microdureza dessa área e, por fim, a análise metalográfica da interface da união verificando a Zona Termicamente Afetada (ZTA) e as microestruturas formadas após o processo de solda por atrito rotativo.

Espera-se ainda, a partir dos dados obtidos, verificar mais uma alternativa de processo de produção de peças do setor automotivo através da solda rotativa por atrito, especialmente para a produção de peças de segurança relevantes, tais como colunas de direção, eixos, insufladores de airbag, aros de rodas de alumínio, válvulas de escape e admissão dos motores de combustão interna, estruturas de ligas de alumínio da suspensão com as mesmas características mecânicas dos construídos por ligas de aço, levando a vantagem de ser leves e resistentes à corrosão.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio para o desenvolvimento do presente trabalho.

7. REFERÊNCIA

- Akata H.E., Sahin H., 2003 “An investigation on the effect of dimensional differences in friction welding of AISI 1040 specimens”. *Ind Lubr Tribol* 2003;55(5):223–32.
- Alves, Eder Paduan, 2010 “Junções de materiais dissimilares utilizando o processo de soldagem por fricção rotativa”. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores, São Paulo/SP.
- Behrmann R J, et al., 1999 “Method of friction welding a support to a boxed vehicle structural assembly”. US Patent No 5,865,362. (R J Tower Corp). February, 1999
- Cardoso, Marcos Felipe Macêdo; Rodrigues, Paulo Rossi Lima, 2010. “Trabalho de Tecnologia de soldagem. Técnica de Soldagem por Fricção” Universidade Federal do Pará UFPA. Instituto de Tecnologia Faculdade de Engenharia Mecânica. Belém/PA.
- Dunkerton SB, 1977 “Toughness properties of friction welds in steels”. *Weld J* August 1986:193–201. Ellis CRG. Friction welding, some recent applications of friction welding. *Weld Met Fabr* May 1977:207–13.
- Elmer, J. W.; Kautz, D. D., 1994 “Fundamentals of friction welding”. In: *ASM Handbook. Welding, Brazing and Soldering*. United States: ASM International, 1994. v. 6, cap. Fundamentals of Solid-State Welding.
- Fomichev NI., 1980 “The friction welding of new high speed tool steels to structural steels”. *Weld Prod* 1980:35–8.
- Grünauer, H, 1999 “Friction welding of aluminium for simple parts and safety components.” *Reibschweißen von Aluminium für einfache Bauteile und Sicherheitskomponenten*. In German, *Duisburger Aluminium Tage*, 18-19 Feb 1999.
- InovarAuto, 2015 – <http://portalinovarauto.com.br/> acesso em: Jan. 2015
- Jenning P., 1971 “Some properties of dissimilar metal joints made by friction welding”, *advances in welding processes, solid phase joining processes, proceeding of conference*. Abington Hall, Cambridge: The Welding Institute; 1971. p. 147–52.
- Kinley W., 1979 “Inertia welding: simple in principle and application”. *Weld Met Fabr* October 1979:585–9.
- Lucas W., 1971 “Process parameters and friction welds, metal construction” *British. Weld J* 1971:293–7.
- Misirli. C, Sahin M., Kusu, H. 2012 “Temperature Determination os St-Al Joints During Friction Welding” *Advanced Materials Research Vols. 463-464* (2012) pp 1538 – 1542 (2012) Trans Tech Publications. Full Mechanical Engineering Department, Trakya Univesity, 22180 Edirne, Turkey
- Manufacturing Technology, Inc. 1702 West Washington South Bend, IN 46628 EUA Telephone: +1 574 233 9490 Fax: + 1 574 233 9489. http://www.mtiwelding.com/parts_sample/Automotive. Acesso em 11.05.2015
- Sahin M, Akata H.E., 2004 “An experimental study on friction welding of medium carbon and austenitic stainless steel components.” *Ind Lubr Tribol* 2004;56(2):122–9.
- Sahin M, akata H.E., 2003 “Joining with friction welding of plastically deformed steel.” *J Mater Process Technol*

- 2003;142(1):239–46.
- Sahin M., 2004 “Simulation of friction welding using a developed computer program.” J Mater Process Technol 2004;153- 154:1011–8.
- Sahim M., 2009 “Joining of stainless-steel and aluminium materials by friction welding” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology March 2009, Volume 41, Issue 5, pp 487-497.
- Silva, Fernanda Laureti Thomaz da; Junior, Luiz Gimenes. Portal Brasileiro da Soldagem Infosolda. www.infosolda.com.br/download/61den.pdf . Acesso em 06.05.2015.
- Site INOVAR-AUTO. <http://www.f-iniciativas.com.br/nossos-servicos/innovar-auto/> Acesso em 29.04.2015
- Soares R., 2014 - Jornal DCI – Indústria 24.04.2014 – Roberta Soares – Empresa Novelis América do Sul <http://www.dci.com.br/industria/novelis-pretende-crescer-no-mercado-de-carros-id393202.html> acesso em Jan 2015
- Stotler, T. Procedure, 1994 “Development and practice considerations for inertia and direct - drive friction welding”. In: ASM Handbook. Welding , Brazing and Soldering. United States: ASM International, 1994. v. 6, cap. Procedure Development and Practice Considerations for Solid- State Welding.
- Thomas, W.M. et al., 2001 “Friction based technologies for joing and processing”. TWI Ltd. Paper presented at TMS Friction Stir Welding and Processing Conference, November 2001, Indianapolis – EUA.
- Tylecote RY., 1968 “The solid phase welding of metals.” London: Edward Arnold (Publisher) Ltd.; 1968. p. 1–150.
- Vill VI., 1968 “Friction welding of metals.” NewYork: AWS; 1962.
- Wainer, Emílio et al .2011 “Soldagem: processos e metalurgia” 8ª reimpressão. 2011. Ed Edgard Blucher Ltda.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

THE STUDY OF THE APPLICATION OF ROTARY FRICTION WELDING (RFW) IN DISSIMILAR MATERIALS UNION IN AUTOMOTIVE PARTS

Luis Roberto Kanashiro^{1,2}, luisrok@hotmail.com
Givanildo Alves dos Santos¹, givanildo@ifsp.edu.br
Francisco Yastami Nakamoto¹, nakamoto@ifsp.edu.br

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Rua Pedro Vicente, 625 – São Paulo/SP

²Faculdade de Tecnologia de Santo André, Rua Prefeito Justino Paixão, 150 - Santo André/SP

Abstract. *The feasibility of using friction welding at the junction of aluminum alloy with steel alloys for manufacturing automotive parts, has as objective the reduction of part weight without causing the loss of mechanical properties. This work will be produced specimen by welding friction dissimilar materials (steel and aluminum) in a rotary friction welding equipment. Later on these specimen will be subjected to destructive and non-destructive mechanical testing and metallographic analysis and the expected result is that the mechanical properties will be maintained to at least one of the metals involved with this welding process.*

Keywords: *friction welding . aluminum alloys. automotive parts. weight decrease . mechanical properties*