



SOLDAGEM POR FSW (FRICTION STIR WELDING) DA LIGA DE ALUMÍNIO 6063T6 UTILIZANDO FERRAMENTA CIRCULAR E CÔNICA.

Weber de Melo Mesquita⁽¹⁾; Kleber Ribeiro da Silva⁽²⁾; Daniel Assis Amâncio⁽³⁾; Paulo Henrique Paulista⁽⁴⁾.

¹ Aluno de graduação do curso de Engenharia de Produção. Centro Universitário de Itajubá – FEPI. weber.mmesquita@gmail.com.

² Aluno de graduação do curso de Engenharia de Produção. Centro Universitário de Itajubá – FEPI. kleber.ribeiroos@yahoo.com.br.

³ Doutorando em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. daniel_assis_amancio@hotmail.com.

⁴ Mestre em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. paulohpaulista@gmail.com.

RESUMO

O processo de soldagem por fricção (FSW – Friction Stir Welding), soldagem em estado sólido, é uma nova técnica utilizada para fusão de materiais sem haver junção dos mesmos. As ligas de alumínio são submetidas a uma variedade de tratamentos térmicos, objetivando a obtenção de melhores propriedades mecânicas. Entretanto, estes tratamentos térmicos podem provocar susceptibilidade a diferentes tipos de ataques localizados (pite, corrosão intergranular e esfoliação). A qualidade da soldagem está ligada aos diversos parâmetros do processo (geometria da ferramenta e sua inclinação em processo, a velocidade de avanço da soldagem e a velocidade de rotação do ferramental). As propriedades mecânicas do material após o processo FSW são semelhantes ao seu estado inicial, que favorece a aplicação deste processo em diversos segmentos, principalmente aeronáutico. Neste trabalho serão feitas análises por microscopia óptica e eletrônica de varredura (MEV) para avaliar a microestrutura do material, além da microdureza, verificando se houve variação sobre suas características iniciais, uma vez que a área de soldagem sofrerá superaquecimento no ponto central da junção das peças e nas extremidades. Também irá-se analisar o desgaste do ferramental utilizado de fabricação própria em aço AISI H13 (aço ferramenta) e SAE 52100 (aço para construção mecânica). O presente trabalho teve como objetivo a caracterização de um solda FSW com uma ferramenta cônica e circular da liga de alumínio 6063T6 com espessura de 3,20 x 31,75 x 200,00mm.

Palavras-chave: Soldagem FSW, Soldagem por fricção, Friction Stir Welding.

INTRODUÇÃO

A necessidade de novas técnicas em soldagens feitas nas indústrias aeronáutica e automobilística fazem com que sejam realizadas diversas pesquisas buscando novos métodos e materiais a serem utilizados para junção de peças, tendo como meta gerar o menor impacto possível nas propriedades mecânicas do material, reduzir o impacto ambiental durante o processo, o que proporciona o desenvolvimento de equipamentos e estruturas de alto desempenho. Este processo de soldagem por fricção, termo em inglês *Friction Stir Welding*

(FSW), destaca-se como uma técnica capaz de estabelecer melhorias nos parâmetros na soldagem de peças onde seja necessária uma padronização das características do material. A soldagem FSW possibilita que a peça soldada apresente propriedades mecânicas similares ao seu estado inicial. Para a construção industrial, aeronáutica e automobilística tais resultados são de extrema importância. As misturas de materiais nos componentes podem interferir na composição da área soldada, como eletrodos e gases. Uma das vantagens do processo de soldagem FSW é a sua aplicabilidade no alumínio e suas ligas, que se destacam dos outros materiais devido a seu baixo peso específico e alta

resistência mecânica de suas ligas. ABAL (2012) cita que a elevação do uso de ligas de alumínio na indústria aeronáutica e automobilística permite que os processos de soldagem apareçam como um ponto crítico do processo industrial, devido as propriedades do material se desgastarem ao gerar a fusão do metal e, por isso é necessário a realização de estudos sobre a técnica de soldagem FSW. Análise em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) possibilitará investigar os efeitos da soldagem no material e o comportamento do cordão de solda em cada fronteira dos diferentes corpos-de-prova. O ensaio de dobramento nos fornecerá uma indicação qualitativa da ductilidade do material na área soldada. Será utilizado o método de dobramento semiguiado, de tal modo que uma das extremidades do corpo de prova fica presa e a outra sofre a aplicação de força; a força também pode ser aplicada em outro local do corpo de prova. O tipo de dobramento será o dobramento transversal de face. No dobramento lateral transversal, o eixo longitudinal do cordão de solda forma um ângulo de 90° em relação ao eixo longitudinal do corpo de prova a ser dobrado. Nesse caso, o dobramento será realizado de maneira que uma das superfícies laterais do corpo de prova, onde a solda está cortada de topo, torne-se convexa em relação ao corpo de prova dobrado. Todos os ensaios serão executados de acordo com a norma ASME, seção IX, item QW-163, onde especifica que o ensaio é aceitável se não ocorrerem trincas e descontinuidades maiores que 3,2mm, na solda ou entre a zona de ligação, medidos em qualquer direção. Trincas com origem a partir das bordas do corpo de prova ensaiado devem ser desconsideradas, a menos que evidenciem a presença de outras descontinuidades.

Serão realizados testes de microdureza dos materiais utilizados na pesquisa para comparar e avaliar as alterações após realizado o processo FSW. Cargas poderão ser submetidas na peça ao serem instaladas em ambientes industriais e/ou de extração, correndo o risco de haver esforços indesejados nas zonas de junção dos materiais.

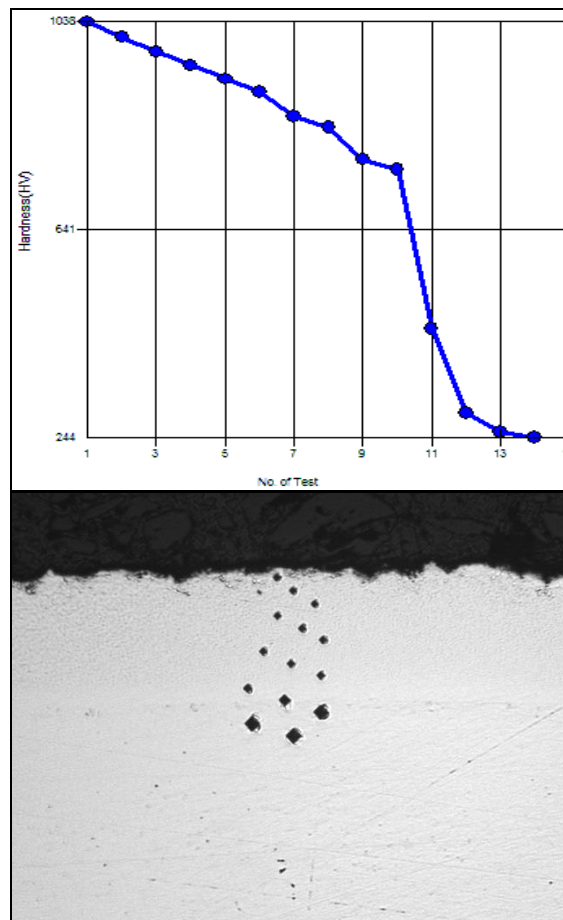


Gráfico 1 - Dureza e avaliação metalúrgica após têmpera e nitretação no ferramental em AISI H13

Elemento	Simbologia	Percentual
Carbono	C	0,40
Manganês	Mn	0,4
Silício	Si	1,0
Cromo	Cr	5,0
Molibdênio	Mo	1,30
Vanádio	V	1,0

Tabela 1 - Composição AISI H13. Adaptado GGD Metals. Catálogo de fornecimento (2016). Disponível em <http://www.ggdmetals.com.br/cat/H13.pdf>

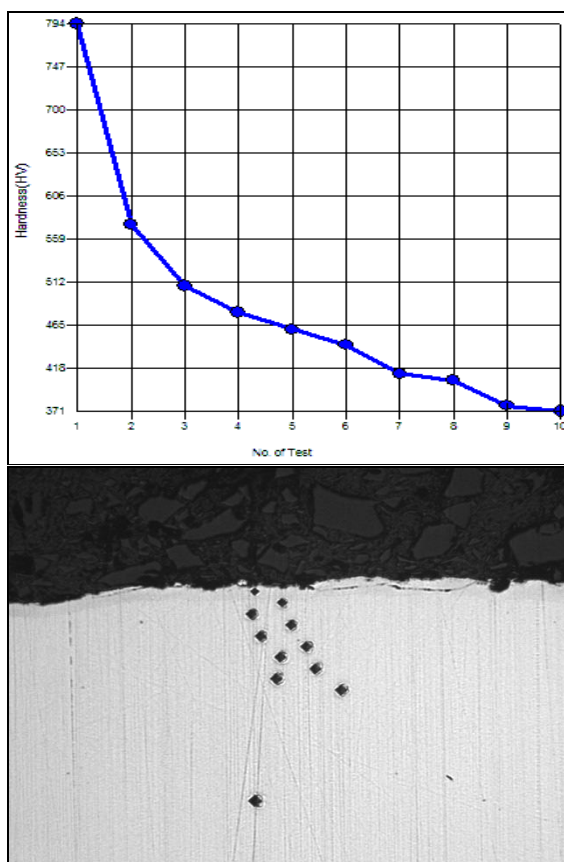


Gráfico 2 - Dureza e avaliação metalúrgica após têmpera e nitretação no ferramental em SAE 52100

Elemento	Simbologia	Percentual
Carbono	C	0,98 ~ 1,10
Silício	Si	0,15 ~ 0,35
Manganês	Mn	0,25 ~ 0,45
Cromo	Cr	1,30 ~ 1,60

Tabela 2 - Composição SAE 52100. Adaptado GGD Metals. Catálogo de fornecimento SAE 52100 (2016). Disponível em <http://www.ggdmetals.com.br/cat/52100.pdf>

MATERIAL E MÉTODOS

As ferramentas foram submetidas em tratamento térmico para elevar a dureza das mesmas, evitando possíveis problemas no processo como esforços excessivos e quebra. Utilizaremos a têmpera e a nitretação para obter este resultado.

Na têmpera, será realizado o resfriamento em óleo, o aço é pré-aquecido a 840-850 °C para equalização de temperatura antes do

aquecimento até a temperatura de austenização. O tratamento termoquímico de nitretação consiste da modificação de superfícies de ligas ferrosas, no estado sólido, por difusão de nitrogênio no interior do reticulado cristalino, onde a ferrita é mais estável, e em temperaturas na faixa de 350 a 590°. Nitretação por meio de gás amônia, envolvendo apenas a adsorção de nitrogênio, quando além do nitrogênio, o carbono também é introduzido. Este tratamento é chamado de nitrocarbonetação, podendo ser desenvolvido numa atmosfera gasosa, em banho de sal ou utilizando a tecnologia de superfície nitretada. Após o tratamento de nitretação gasosa, as peças são submetidas a avaliação metalúrgica, para verificar se os requisitos de espessura de camada e dureza foram satisfatórios.

Com os corpos-de-prova fixados na mesa de uma fresadora, uma ferramenta cilíndrica com ponta não deteriorável, em rotação, é inserida na junção dos corpos-de-prova até o contato da ferramenta com a superfície superior desta junção, onde a rotação gera calor por meio de atrito (Figura 1). O pino da ferramenta tem dimensão menor à penetração desejada, inserindo na junta.



Figura 1 – Conjunto de fixação na mesa da fresadora.

A figura 2 nos mostra o aquecimento resultante da fricção ao elevar a temperatura na área de soldagem até que o material entre em estado plástico e do ferramental mescle o material dos corpos-de-prova, fundindo-os.

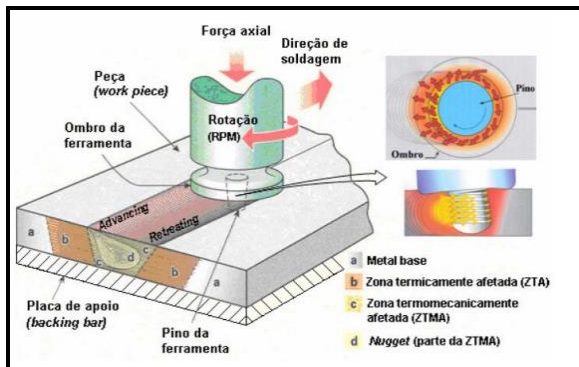


Figura 2 - Parâmetros da soldagem por fricção (FSW). Fonte: CRUZ e NETO, 2009 p.6.

Com as condições termomecânicas adequadas determinadas, deve-se iniciar o deslocamento linear na direção de soldagem. A Figura 3 descreve o conceito global da soldagem FSW dividido em 4 etapas:

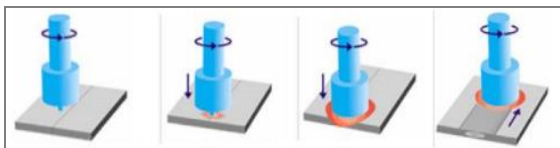
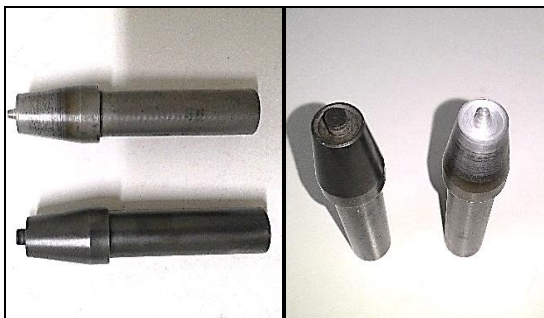


Figura 3 - Etapas iniciais da soldagem FSW
Fonte: Rodriguez et al, 2013 p.4.

Confeccionamos dois perfis do ferramental FSW, apresentando diferenças na geometria do pino de inserção e do suporte, realizando experimentos utilizando geometria cônica e cilíndrica.



As amostras aprovadas serão utilizadas em ensaio mecânico de microdureza, permitindo conhecer a interação entre a variável ferramenta e a obtenção de soldas com menor presença de cavidades no interior da solda para um intervalo de parâmetros selecionados com base nos estudos de GIPIELA (2007) e da literatura. Os dados obtidos contribuirão com estudo sobre a interação entre os parâmetros fundamentais do processo, suas variáveis e com as propriedades mecânicas da

junta após o processo da soldagem, através da microdureza realizada na zona soldada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios mostraram total sucesso de acordo com o objetivo principal do trabalho. Foram utilizados parâmetros iguais para os dois ensaios como velocidade de rotação do ferramental, velocidade de soldagem linear e As chapas soldadas uniram-se de forma homogênea conforme esperado, obtendo um bom acabamento de acordo com o processo, conforme imagens abaixo:



Figura 4 – Chapa de alumínio 6063T6 unidas pelo processo FSW utilizando ferramental cônico.



Figura 5 – Chapa de alumínio 6063T6 unidas pelo processo FSW utilizando ferramental cilíndrico.

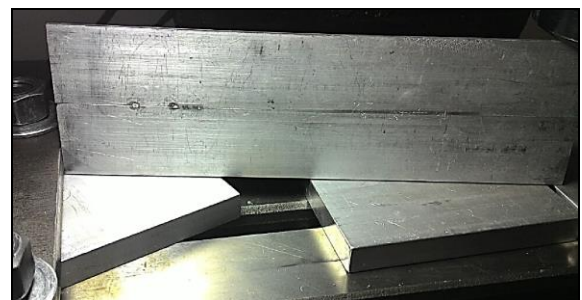


Figura 6 – Raiz das chapas de alumínio 6063T6 unidas pelo processo FSW utilizando ferramental cilíndrico.

A velocidade de penetração do ferramental mostrou ser um parâmetro relevante para iniciar a soldagem. Quando a velocidade de penetração está acima do esperado, a força excede a capacidade da fresadora, podendo avariar o ferramental. Nos ensaios, operamos com velocidade de 10 mm/min. Como o ferramental gira no sentido horário de rotação, a tendência é que seja criado menor formação de rebarba no lado do retrocesso da junta, como mostra a Figura 5. Uma razão que ajudou na formação de rebarba foi a penetração de 0,3 mm do ombro do ferramental, o que ocasionou a ejeção lateral de material proporcional ao volume relativo do mesmo nos corpos-de-prova. Apesar da geração de rebarbas, não houve problemas estéticos e/ou visuais aparentes na superfície da solda, alcançando uma baixa rugosidade na junção das placas. Na tabela abaixo pode-se evidenciar os parâmetros do processo:

Velocidade de rotação da ferramenta (rpm)	Velocidade de avanço da mesa (mm/min)	Velocidade de penetração (mm/min)	Penetração do ombro do ferramental (mm)	Altura do pino (mm)	Sentido de movimentação
2250	50	10	0,3	3,2	Discordante

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, o processo de soldagem por fricção apresenta grande potencial em seu uso nas indústrias automobilística e aeronáutica, principalmente, como é mostrado em diversos trabalhos, pesquisas e publicações sobre este processo.

A soma da metodologia e a confecção adequada do ferramental proporcionou o sucesso na soldagem de ligas 6063 T6 que, por serem materiais com alta ductilidade estão suscetíveis ao aparecimento de trincas quando soldadas em processos envolvendo a fusão.

REFERÊNCIAS

- AMÂNCIO FILHO, S. T. Soldagem por fricção de junta dissimilar em ligas de alumínio de AA 2024 e AA 6056: microestrutura e propriedades. São Carlos: UFSCAR, 2002. 185 p. Dissertação de mestrado.
- ANDRADE T. C., SILVA C. C., MIRANDA H. C., MOTTA M. F., FARIAS J. P., BERGMAN L. A., DOS SANTOS J. F., Microestrutura de uma

Solda Dissimilar entre o Aço Inoxidável Ferrítico AISI 410S e o Aço Inoxidável Austenítico AISI 304L Soldado pelo Processo FSW. UFC, Ceará, dez. 2015.

- ASM Handobook. V.4. Heat Treating, 10° ed., 1991, ASM International (Ed.), Metals Park, Ohio.

- ASM Metals Handbook. Welding, brazing and soldering. United States of America: ASM International, 1995. v. 6. 2873 p. ASM Metals Handbook. Metallography and microstructures. United States of America: ASM International, 1995. v. 9. 2873 p.

- ASME, Seção IX, item QW-163. Edição 2010.

- GGD METALS. GRUPO GONÇALVES DIAS. Folheto de caracterização do aço AISI H13. 2016. Disponível em: <<http://www.ggdmets.com.br/cat/H13.pdf>>.

Acesso em: maio. 2016.

- LAMOGIA, M. S. Estudo da ocorrência de camada escura na superfície de anéis de pistão do terceiro canaleta tratados termoquimicamente pelo processo de nitretação a gás. UNIFEI. Dissertação de Pós-Graduação. dez. 2015.

- VATAVUK, J.; ALVAREZ, S.D.M.; GARCIA, M.B. Efeito da nitretação na resistência à corrosão dos aços AISI H13, 201 e 440B; EBRATS, São Paulo, out. 1997.