

AVALIAÇÃO MICROESTUTURAL E MECÂNICA DE SOLDA A PONTO POR FRICÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO AA6061-T6

Camila Albuquerque Fernandes, camila.alb15@gmail.com¹
Severino Leopoldino Urtiga Filho, Severino.urtiga@gmail.com¹
Jorge Fernandez dos Santos, Jorge.dos.santos@hzg.de²
Uceu Suhuddin, Uceu.Suhuddin@hzg.de²

¹Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Pós Graduação de Engenharia Mecânica (PPGEM), Recife, Pernambuco, Brasil

²Helmholtz-Zentrum Geesthacht GmbH, Institute of Materials Research, Materials Mechanics, Solid-State Joining Processes (WMP), Germany

Resumo: O uso de materiais de ligas leves, em especial ligas de alumínio e magnésio, e a utilização de processo de soldagem por fricção para unir esses materiais vem se tornando cada vez mais expressivo nas indústrias automotivas e aeronáuticas. Isto se dá pelo fato de que a redução do peso da estrutura agrega não só valores de economia de energia, como também leva à diminuição da emissão de gases poluentes. Essas razões fazem com que o processo de Solda a Ponto por Fricção (do inglês, Friction Spot Welding – FSpW) se torne uma alternativa plausível para a união desses materiais, podendo chegar a substituir ou complementar tecnologias de união convencionais. Esse é um processo de união no estado sólido, no qual duas ou mais chapas são unidas através da transferência de energia térmica e mecânica que é gerada pela rotação da ferramenta. No presente estudo, FSpW é aplicado para a união da liga de alumínio, AA6061-T6, de 1,25 mm de espessura e tem como objetivo analisar a microestrutura do material e o desempenho mecânico da junta soldada, através da avaliação dos efeitos de diferentes parâmetros de soldagem. Para tal, foram realizadas análises no microscópio óptico e ensaios na máquina de microdureza e de cisalhamento. As zonas de soldagem analisadas na microestrutura podem ser classificadas em três zonas distintas: Zona de Mistura (ZM), Zona Termo-mecanicamente afetada (ZTMA) e Metal Base (MB); uma quarta zona, chamada de Zona Termicamente Afetada (ZTA), só pôde ser observada através da análise de dureza do botão da solda. Esse perfil de dureza exibiu uma forma típica de W (W-shape appearance), e a maior dureza foi encontrada no Metal Base. A análise das propriedades mecânicas se deu pela realização e avaliação do teste de cisalhamento, que foi realizado variando a velocidade de penetração/retração do pino de 3,5 mm/s até 4,5 mm/s e mantendo fixos os outros parâmetros: força de aperto de 12 kN, velocidade de rotação de 1300 rpm e uma profundidade de penetração de 1,4 mm. O valor máximo encontrado foi de 6368,62 N, quando usada uma velocidade de 4.0 mm/s. Os resultados do estudo em questão indicaram a importância da seleção dos parâmetros de soldagem para o processo FSpW e a sua possível utilização nos meios industriais.

Palavras-chave: FSpW; AA6061-T6; zonas da solda; teste de cisalhamento

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, devido a uma maior preocupação com questões ambientais, estudos vêm sendo realizados com o intuito de buscar soluções para reduzir tanto o consumo de combustíveis, quanto a emissão de gases poluentes produzidos pelos meios de transportes. Uma das soluções para esta questão é a redução do peso das estruturas desses meios de transportes; isso pode ser feito através da utilização de materiais de ligas leves, em especial as ligas de alumínio e magnésio, e/ou da utilização de processo de soldagem por fricção para unir os materiais. O primeiro já está em uso nas indústrias aeronáuticas, mas vem sendo objeto de investimento na área automobilística. Já o segundo, no entanto, é um processo relativamente novo que ainda necessita de mais estudos e avaliações para poder ser aplicado no setor aeronáutico e para ser ainda mais utilizado no automotivo. [1,2]

No entanto, a utilização dessas ligas torna-se, muitas vezes, inviável em função da dificuldade de se unirem esses materiais. Isso ocorre devido a algumas características metalúrgicas as quais resultam em uma junta com qualidade baixa quando essa união se dá através de processos convencionais de soldagem. No setor automobilístico, por exemplo, as técnicas mais usadas são os processos que envolvem fundição, isso traz certos inconvenientes resultantes da solidificação, que em geral produz juntas com baixo desempenho mecânico. [3] Já na indústria aeronáutica, o processo

de união que é mais utilizado é o de rebiteamento convencional e rebiteamento por auto aprisionamento, no entanto esses processos elevam significativamente o peso da estrutura. [4]

A fim de solucionar ou reduzir tais inconvenientes, uma tecnologia de soldagem que não exige a fusão do metal base foi desenvolvida e vem sendo cada vez mais utilizada, é a chamada Soldagem por Fricção e Mistura (do inglês, Friction Stir Welding – FSW), desenvolvida em 1991, na Inglaterra. [5] Essa técnica envolve calor por fricção e deformação plástica entre a ferramenta e a superfície a ser unida, e apresenta várias vantagens quando comparada aos processos de soldagens convencionais: compatibilidade com o meio ambiente, o menor consumo de energia e a possibilidade de se soldar ligas até então não soldáveis, tais como as ligas de alumínio das séries 2XXX e 7XXX. [5]

Entretanto, nem sempre se faz necessária a utilização de um cordão de solda contínuo para obter o desempenho esperado de um determinado produto. Deste modo, surgiram processos inovadores de soldagem no estado sólido que utilizam pontos de solda: [3,6] Soldagem por Fricção e Mistura por Ponto (do inglês, Friction Stir Spot Welding – FSSW) e Solda a Ponto por Fricção (do inglês, Friction Spot Welding - FSpW). O primeiro foi desenvolvido em 2001 no Japão, pela *Mazda Motor Corporation*, e tem como uma das suas desvantagens deixar um furo na superfície da solda, o que pode atuar como um concentrador de tensões. [5,7]; O segundo, o qual será o foco deste trabalho, foi desenvolvido por um grupo do centro de pesquisa GKSS, na Alemanha, e foi patenteado em 2005 por esse mesmo grupo. [6]

FSpW é um processo onde duas ou mais chapas são unidas pontualmente na forma de juntas sobrepostas; a região da solda é constituída por um material plastificado que preenche totalmente o botão da solda, deixando-o nivelado com a superfície superior, eliminando, assim, o inconveniente do concentrador de tensões que existe no processo FSSW. O processo baseia-se na geração de calor por fricção e deformação plástica produzida por uma ferramenta rotativa não consumível (composta por um anel, uma camisa e um pino), que possui um deslocamento transversal. Os três componentes da ferramenta podem ser movidos para cima ou para baixo com movimentos independentes um do outro, pois cada um possui o seu sistema de atuação. [8] O processo permite duas variantes: penetração da camisa e penetração do pino, que é definida em função de qual componente penetra no material a ser soldado, ou seja, camisa ou pino, respectivamente. [9,10,11] Cada variante possui suas vantagens e desvantagens. A variante penetração da camisa exige mais esforço da ferramenta e uma potência maior da máquina, no entanto tem como resultado juntas mais resistentes, visto que o botão da solda é maior. Já no caso da variante ser a penetração do pino, a ferramenta sofre menos esforço, tendo assim uma vida útil maior e exige uma potência menor da máquina, entretanto, o resultado são juntas menos resistentes quando comparadas com as que são obtidas através da variante penetração da camisa. Essa tecnologia de soldagem pode ser dividida em quatro estágios, como mostra a Fig.1. No primeiro estágio, as chapas são fixadas e presas contra a ferramenta com uma força de aperto pré-determinada. Após isso, a ferramenta (pino e camisa) começa a rotacionar, produzindo calor por fricção na superfície da chapa, até iniciar a deformação plástica do material, e a partir daí o pino e camisa se movimentam em direções opostas (um penetra no material, enquanto o outro se move para cima, dependendo da variante do processo). O material plastificado é empurrado para dentro do espaço deixado pela ferramenta retraída. No estágio final, as peças da ferramenta se movem para a superfície da chapa superior, empurrando o material plastificado de volta para a placa. No final do processo, o resultado é um ponto soldado por uma junta sobreposta com perda mínima de material e uma superfície plana. [9,12]

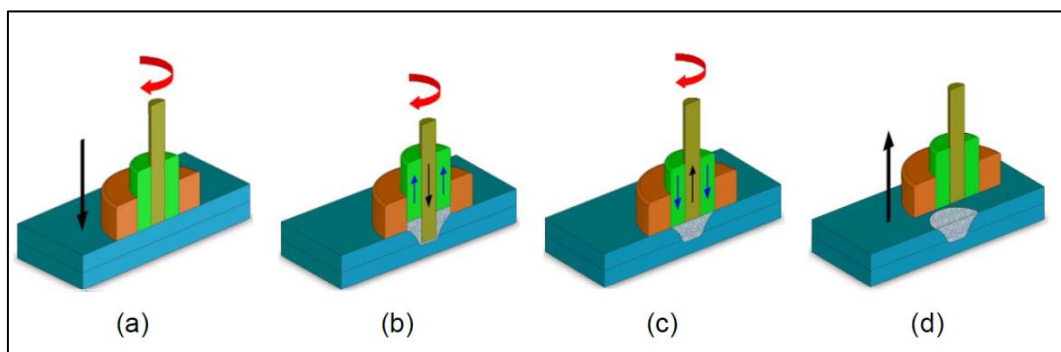


Figura 1 – Esquema mostrando a variante *penetração do pino* do processo FSpW. a) aperto das chapas e rotação da ferramenta; b) penetração do pino e retração da camisa; c) ferramentas voltam à superfície; d) remoção da ferramenta. [9]

Desta forma, fica evidente que o estudo do processo FSpW em soldas de ligas leves é muito importante e uma excelente opção para a redução do peso e consequentemente na redução do consumo de combustíveis dos automóveis e aeronaves.

O presente artigo tem como finalidade principal avaliar a viabilidade da união da liga de alumínio AA6061-T6 de 1,25 mm de espessura pela técnica FSpW, através da investigação dos efeitos dos diferentes parâmetros de soldagem (variando a velocidade de penetração/retração do pino) nos aspectos microestruturais e no desempenho mecânico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado neste estudo foi a liga de alumínio 6061-T6 com 1,25 mm de espessura. A Tabela 1 e 2 mostram sua composição química e suas propriedades mecânicas, respectivamente. [13]

Tabela 1 - Composição química do liga AA6061 (% peso) [13]

Mg	Si	Fe	Cu	Cr	Mn	Ti	Zn	Al
0,8-1,2	0,4-0,8	Max. 0,7	0,15-0,4	0,04-0,5	Max. 0,15	Max. 0,15	Max. 0,25	Restante

Tabela 2 - Propriedade mecânicas da liga AA6061-T6 [13]

Resistência a tração (MPa)		Dureza Brinell Típica (HB)	Resistência máxima ao cisalhamento (MPa)	Alongamento
Limite de resistência à tração	Limite de escoamento			Porcentagem Min. em 50 mm
Min. 260	Min. 240	95	207	10

A resistência da solda foi caracterizada através do teste de cisalhamento, que foi realizado na máquina universal de ensaios mecânicos Zwick / Roell-driven, seguindo as dimensões do corpo de prova baseadas na norma ISSO 14273:2022, conforme indica a Fig. 2. As soldas foram realizadas em uma máquina comercial RPS100, e a variante foi a penetração do pino. A ferramenta usada é composta por anel de fixação, camisa e pino com diâmetros externos de 17, 9 e 6 mm, respectivamente. A velocidade de penetração/retração do pino foi variada em 3,5, 4,0 e 4,5 mm/s. Mantendo fixos os outros parâmetros: força de aperto de 12 kN, velocidade de rotação de 1300 rpm e uma profundidade de penetração de 1,4 mm.

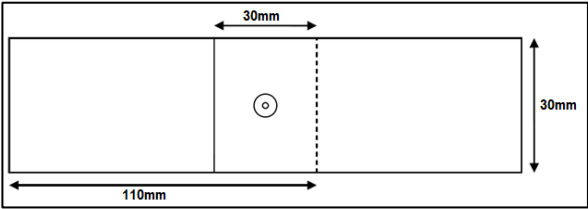


Figura 2 - Esquema do corpo de prova para o teste de cisalhamento

Antes de iniciar a soldagem todas as amostras foram limpas com acetonas. As amostras que foram analisadas no microscópio óptico foram atacadas por reagentes químicos para que fossem reveladas as diferentes regiões da solda. A avaliação metalúrgica foi realizada através da microscopia ótica (MO), utilizando para isso um microscópio óptico modelo Leica DM IRM. Já as modificações na resistência do material em cada região da solda foram avaliadas através do ensaio de microdureza realizado na máquina Zwick / Roell ZHV.

3. RESULTADO EXPERIMENTAL

3.1 Análise superficial da junta soldada

A Figura 3 mostra uma junta soldada pelo processo FSpW onde é possível observar o bom acabamento superficial, bem como a marca de cada componente da ferramenta. A partir desta fig. 3 pode ser observado que o botão da solda foi totalmente preenchido pelo material plastificado, resultando numa superfície nivelada, e assim evitando um concentrador de tensões nesta região. Outro fato que deve ser notado é a não formação de rebarba, isto indica que a força de aperto utilizada foi adequada. A análise visual é a primeira análise que deve ser feita e se aprovada poderá ser feita a caracterização mais completa da junta, através do teste de resistência mecânica sob solicitação de cisalhamento, análise metalográfica e ensaio de dureza.



Figura 3 - Acabamento superficial da junta soldada

3.2 Teste de Cisalhamento

Os ensaios de cisalhamento revelaram que a janela de parâmetros escolhida resultou em juntas com boa resistência mecânica e boa reprodutibilidade. A Figura 4 mostra a relação entre o teste de cisalhamento e o parâmetro de processo que foi variado (velocidade de penetração/retração do pino). A partir dele pode ser visto como a resistência da junta soldada é afetada quando a velocidade de penetração é variada. Até atingir a velocidade de 4 mm/s nota-se um aumento na força, e após esse ponto a força começa a diminuir. Ou seja, nota-se que o valor máximo de resistência ao cisalhamento é conseguido na situação em que se usa uma velocidade de penetração de 4 mm/s, tendo como resultado uma força resultante de 6368,62 N. Conforme citado por Shen, [12] entender como o teste de cisalhamento varia de acordo com o parâmetro de processo utilizado é uma tarefa relativamente complicada. Entretanto, ao se fazer uma relação desses resultados com o aporte térmico, consegue-se uma melhor compreensão dos valores obtidos. North et al. faz um estudo mais detalhado do aporte térmico onde conclui-se que, em geral, quanto mais calor de entrada é fornecido à região da solda, maior será a sua resistência mecânica. [23] Conforme mostrado no trabalho de North et. al., o aporte térmico (Q) em soldas por fricção por ponto resultante da atuação de um ou mais componentes da ferramenta é expresso pela equação 1:

$$Q = \sum_{n=1}^{n=N} \text{Força}(n)(x_n - x_{n-1}) + \sum_{n=1}^{n=N} \text{Torque}(n)\omega(n)\Delta t \quad (1)$$

Onde n é número de amostra, N é a amostra final, x é profundidade de penetração da ferramenta, ω é a velocidade angular da ferramenta (rad/s) e Δt é o tempo total.

Experimentos realizados até o momento têm mostrado que o efeito do primeiro termo da equação 1 é muito menor que o efeito do segundo termo. Concluindo-se, desta forma, que tanto a velocidade de rotação, quanto o tempo de soldagem e o torque contribuem de modo significativo sobre o aporte térmico. É importante ser citado que se a velocidade for muito elevada pode ocorrer escorregamento entre a ferramenta e o material, ocasionando a redução do torque, e consequentemente, do aporte térmico, além de ter como resultado juntas menos resistentes.

Conclui-se desta forma, que o resultado obtido neste experimento está de acordo com os estudos realizados por North et. al. , mostrando que ao utilizar uma velocidade de penetração 4,5 mm/s há uma redução na resistência da junta soldada de cerca de 300 N, quando comparado a velocidade de 4,0 mm/s , que tem por explicação o escorregamento da ferramenta quando entra em contato com o material.

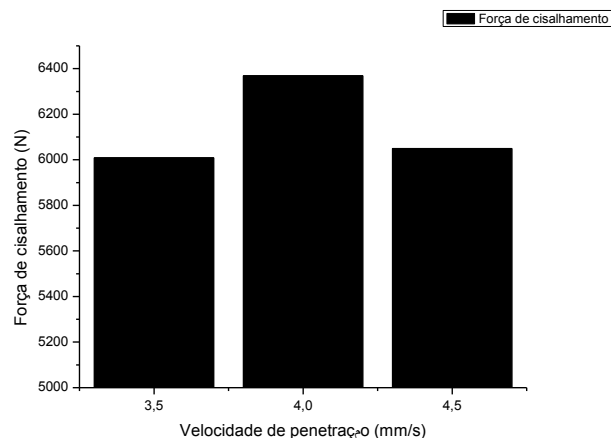


Figura 4 – Força de cisalhamento x Velocidade de penetração

3.3 Caracterização macroestrutural e microestrutural

A Figura 5 mostra a macrografia da secção transversal de um botão de solda feita na condição de soldagem de 1300 rpm, 1,4 mm e 3,5 mm/s. Nota-se que o botão da solda é completamente preenchido com o material plastificado, ficando toda a superfície praticamente nivelada, podendo ser visto apenas um pequeno desnível em torno da periferia do pino com a camisa. A partir desta análise pode-se notar a presença de três elementos geométricos, que segundo Rosendo, [9] não é considerada defeito, pois se mostraram inerentes ao processo: cunha, união principal e união secundária. A cunha surge em decorrência da plastificação da chapa inferior e tem a aparência de um V invertido, mesma aparência encontrada por Rosendo [9], o qual diz que a aparência final da cunha é controlada pela entrada de energia. A união principal caracteriza a união entre as chapas, já a união secundária mostra o início da união das chapas, tendo por isso uma ligação mais fraca, podendo ser observados pontos onde não há ligação entre essas chapas.

Essa análise também revela a presença de três regiões distintas: a zona da mistura (ZM), a zona termomecanicamente afetada (ZTMA) e o Metal Base (MB). O que caracteriza a ZM é a recristalização dinâmica, que ocorre devido à rotação e penetração da ferramenta, os quais geram calor por fricção suficiente para que isso ocorra. Nesta região os grãos são bastante finos e equiaxiais. A zona ZTMA é uma região caracterizada por um grau moderado de deformação plástica. Por essa ser uma liga endurecida por precipitação, nessa região ocorre recuperação do material, e eventualmente a desestabilização do tratamento térmico da liga. As micrografias da fig. 6 mostram com mais detalhes essas regiões. O MB conserva as características metalúrgicas do material original.

Através desta macrografia não se consegue ver a existência da zona termicamente afetada (ZTA), e nem tem como medir a extensão de cada zona, sendo, por isso, necessário se fazer a microdureza desta região.

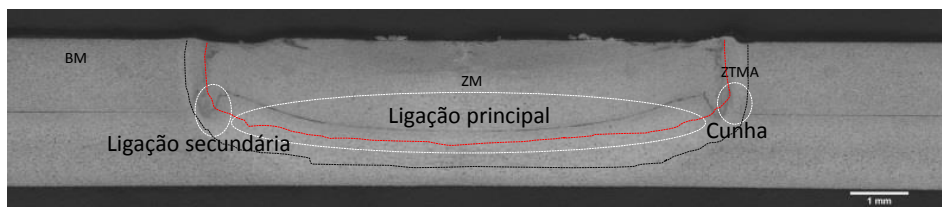


Figura 5 - Macrografia da seção transversal de um solda FSpW

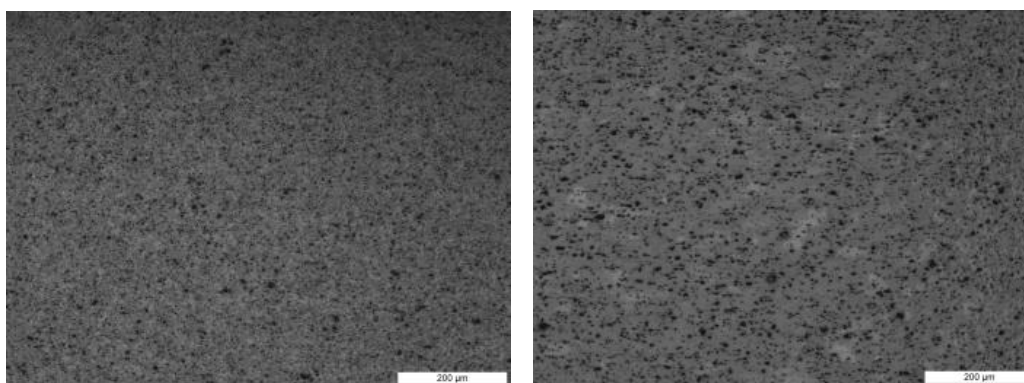


Figura 6 - Micrografias óticas das diferentes zonas de solda: a) ZM b) ZTMA

3.4 Microdureza

Medições de microdureza foram realizadas à meia altura da chapa inferior com o objetivo de se obter o perfil de dureza ao longo do botão da solda. A Figura 7 mostra o perfil de dureza para a condição 1300 rpm, 1,4 mm e 4 mm/s. Por essa ser uma liga tratada termicamente há alteração dos precipitados até que o mesmo se estabilize. Por causa disso, foram feitas medidas em diferentes dias, pois além de poder observar o comportamento da distribuição de dureza, observa-se quando a liga para de sofrer modificações por causa do seu envelhecimento. Deste gráfico nota-se que após dez dias a liga já não sofre alteração devido ao seu envelhecimento, chegando à conclusão que a mesma está estabilizada; e outra conclusão que pode ser retirada do gráfico é que em todas as ocasiões o perfil encontrado é o mesmo, formato de W (*W-shape appearance*). A máxima dureza encontrada foi no metal base, onde se tem uma dureza de cerca de 110 HV. O que explica a queda de dureza na região afetada pela solda é a desestabilização do tratamento térmico desta liga nesta região. O maior decréscimo de dureza se dá na região da ZTA, chegando a um valor mínimo da ZTMA, e tendo um pequeno aumento na ZM. Esse pequeno aumento é justificado pelos precipitados dissolvidos que são encontrados nesta região.

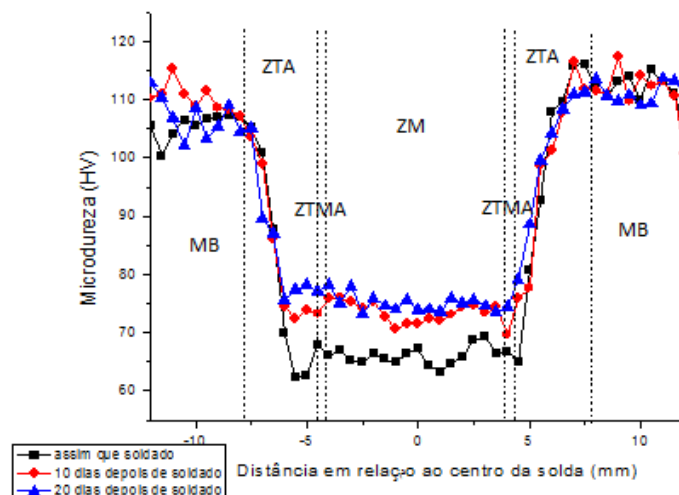


Figura 7 – Perfil de microdureza

4. CONCLUSÃO

Neste artigo, as propriedades mecânicas e microestruturais da liga 6061-T6 foram investigadas a partir de uma matriz de parâmetros estabelecida com base em estudos anteriores, e as principais conclusões podem ser feitas:

- Os resultados mostram juntas com boa resistência mecânica, ficando claro que poderá haver produção dessas juntas, sendo o maior valor de 6368,62 N na condição 1,4 mm, 1300 rpm e 4 mm/s;
- A macroestrutura da região do botão da solda pode ser dividida em três regiões, que são a Zona da Mistura (ZM) e a Zona Termomecanicamente Afetada (ZTMA) e o Metal Base (MB). Elas são diferenciadas pelos tamanhos e formas dos grãos que formam cada região;
- Esta análise também mostrou a presença de três elementos que estão presentes em todas as soldas: cunha, união principal e união secundária;
- A Zona Termicamente Afetada (ZTA) só pode ser observada mediante o teste de microdureza. Esse teste exibiu uma aparência de um W e o maior valor de dureza encontrado foi no MB. A resposta para isso se dá pelo fato de haver desestabilização do tratamento térmico na região da solda, fazendo com que haja uma redução na dureza nesta região.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, ao instituto de pesquisa Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) e ao laboratório COMPLAB da UFPE, por fornecerem seus equipamentos para que fossem realizado os experimentos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] YANG Y., LEE S. A Study on the Joining Strength of Laser Spot Welding for Automotive Applications. Journal of Materials Science and Technology 94 (1999) p 151-156.
- [2] V. Tran, et. al. Failure loads of spot friction welds in aluminium 6111-T4 sheets under quasi-static and dynamic loading conditions. SAE International, 2007-01-0983, 2007.
- [3] <http://www.mazda.com>
- [4] J. Varis, Economics of clinched joint compared to riveted joint and example of applying calculations to volume product. Journal of Materials Science and Technology 172, pp 130-138, 2006.
- [5] Mishra, R. S.; Ma, Z. Y. Friction stir welding and processing. Materials Science and Engineering R, v. 50, n. 1-2, p. 1-78, 2005.
- [6] C. Schilling, J. F. dos Santos. Verfahren und Vorrichtung zum Verbinden von wenigstens zwei Aneinanderliegenden Werkstücken nach der Methode des Reibschweißens. Patent Application Amtl. Az. 199 55737.3

- [7] CAMPANELLI, L.C. et al. Metallurgy and mechanical performance of AZ31 magnesium alloy friction spot welds. *Journal of Materials Processing Technology*. 2013
- [8] Schilling, C.; Dos Santos, J.F. Method And Device For Linking At Least Two Adjoining Work Pieces By Friction Welding. Us Patent No. 6,722,556 B2. April 2004.
- [9] Rosendo T, Parra B, Tier MAD, da Silva AAM, dos Santos JF, Strohaecker TR. Mechanical and microstructural investigation of friction spot welded AA6181- T4 aluminium alloy. *Materials Design*, vol. 32, p;1094-1100, 2011.
- [10] Rosendo, T.S. Estudo do Desempenho Mecânico de Solda(s) Ponto por Fricção (FSpW) da liga 6081-T4. Tese de Doutorado, PPGEM, UFRGS, 2009.
- [11] Patnaik A., Koch K., Arbegast W., Allen C. Static Properties of “Refill” Friction Spot Welded Skin Stiffened Compression Panels, SAE Tech. Paper 2006-01-0967, SAE World Congress, Detroit, Michigan, April 3-6, 2006.
- [12] Shen Z, Yang X, Zhang Z, Cui L, Li T. Microstructure and failure mechanisms of refill friction stir spot welded 7075-T6 aluminum alloy joints. *Materials Design* 2013.
- [13] <http://products.asminternational.org/hbk/index.jsp>
- [14] da Silva A., Tier Marco, Bergman L., Rosendo T, Ramos F., Mazzaferro J., Mazzaferro C., Strohaecker T., Dos Santos J. Friction Spot And Friction Stir Spot Welding Processes – A Literature Review.
- [15] Da Silva, A.A.M. Et Al. Microstructure And Properties Of Friction Spot Welds In A 2-Mm Thick Alclad Aa2024 T3 Alloy. In *Fabtech International And Aws Welding Show*. 2007. Chicago, USA.
- [16] Schilling C., dos Santos J. Method and device for joining at least two adjoining work pieces by friction welding. U.S. Patent 6722556B2 2004, April 20, 2004.
- [17] Ferreira S., Bruns R., Matos G., David J., Box-Behnken Design: An Alternative For The Optimization Of Analytical Methods. *Analytica Chimica Acta* 597 (2007) 179–186.
- [18] A. Gerlich, G. Avramovic, Cingara, T. North. Stir Zone Microstructure and Strain Rate During Al7075-T6 Friction Stir Spot Welding. *Metallurgical Transactions*, May 18, 2006.
- [19] S. G. Arul, et. al. Effects of Surface Tratment (lubricants) on Spot Friction Welded joints made of 6111-T4 Aluminium Sheets. SAE International, 2007.
- [20] P. Su, et. al. Energy generation and stir zone dimensions in Friction Sit Spot Welds. SAE International 2006.
- [21] P. Su., et. al. Energy utilization and generation during Friction Stir Spot Welding.
- [22] Su P., Gerlich A.; North, T. H. Friction Stir Spot Welding of Aluminum and Magnesium alloy sheets. SAE Technical paper, 2005-01-1255, 2005.
- [23] North et. al. Understanding Friction Welding. Tsinghua University, Beijing, 2000.
- [24] <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/Planejamento-de-Experimentos-DOE>.
- [25] G.E.P. Box, D.W. Behnken, *Technometrics* 2 (1960) 455–475.
- [26] Minitab Release 12, User Guide: Data Analysis and Quality Tools, Minitab Inc.
- [27] FERREIRA S., BRUNS R., MATOS G., DAVID J., Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. *Analytica Chimica Acta* 597 (2007) 179–186.
- [28] SUHUDDIN, U.F.H.; FICHER, V.; DOS SANTOS, J.F. The thermal cycle during the dissimilar friction spot welding of aluminum and magnesium alloy. *Scripta Materialia*. 2013. 68 (1): p. 87-90.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

IVESTIGATION OF MECHANICAL AND MICROSTRUCTURE PROPERTIES ON FRICTION SPOT WELDED OF 6061-T6 ALUMINUM ALLOY

Camila Albuquerque Fernandes, camila.alb15@gmail.com¹
Severino Leopoldino Urtiga Filho, Severino.urtiga@gmail.com¹
Jorge Fernandez dos Santos, Jorge.dos.santos@hzg.de²
Uceu Suhuddin, Uceu.Suhuddin@hzg.de²

¹Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Departamento de Pós Graduação de Engenharia Mecânica (PPGEM) , Recife, Pernambuco, Brasil

² Helmholtz-Zentrum Geesthacht GmbH, Institute of Materials Research, Materials Mechanics, Solid-State Joining Processes (WMP), Germany

Abstract: *The use of light alloys, like aluminum and magnesium alloys, has increased in the last years. The reason of this is because there are a lot of pressure in the automobilist and aeronautic industries in order to reduce fuel consummation and consequently cost of gas emission. These reasons turn the process Friction Spot Welding (FSpW) in an important alternative to the join of these materials. FSpW is a solid state welding process that produces spot-like connections between two or more sheets by plunging a rotating tool into the workpiece generating frictional heat and plastic deformation resulting in softening of the material to be welded. In the present study, FSpW was applied to join the 6061-T6 aluminum alloy sheet with 1,25 mm thickness. The objective of this paper is investigate the effects of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction spot welds. The Microstructure of the FSpW connections was analysed by optical microscopy, and can can be classified into three regions, which are stir zone (SZ), thermo-mechanically affected zone (TMAZ) and base material (BM). The heat affected zone (HAZ) could be observed during the microhardness test. The hardness profile of the weld exhibits a W-shaped appearance and maximum hardness is measured at the base material. Mechanical performance was investigated in terms of lap shear test, the parameter that was varied in these test was the plunge rate: 3.5 mm /sec to 4.5 mm/sec and keeping the other parameters constant: Clamping force 12 kN, rotation speed of 1300 rpm and a plunge depth of 1.4 mm. The maximum value found was 6368.62 N at the welding condition of the plunge rate of 4 mm/sec. The results of the present study indicated the importance of the selection of welding parameters for FSpW process and showed that it is possible to use it in industrial environments.*

Keywords: FSpW; AA6061-T6; weld zone; lap shear test