

CARACTERIZAÇÃO DA LIGA DE ALUMÍNIO 5083 SOLDADA PELO PROCESSO FRICTION STIR WELDING^I

Elisabete Pinto da Silva^{II}

César Afonso Weis Oléa^{III}

Antonio Augusto Mônaco da Silva^{IV}

Jorge dos Santos^V

Telmo Roberto Strohaecker^{VI}

1. Resumo

Friction Stir Welding (FSW) é um processo de soldagem no estado sólido que pode ser aplicado com sucesso para todas ligas de Alumínio em uma ampla faixa de espessuras. O processo consiste na deformação plástica produzindo calor por fricção através de uma ferramenta cilíndrica com um pino que rota e é movido longitudinalmente a uma velocidade estipulada no material a ser soldado. O metal escoava em volta da ferramenta à medida que o pino é rotado, sendo então forjado pela pressão através do ombro da ferramenta. A deformação plástica causa recristalização da microestrutura produzindo uma estrutura de grãos muito finos no centro da solda. O processo FSW é caracterizado principalmente pela alta qualidade da junta, mesmo com pouca preparação antes ou após a realização da solda; velocidade de produção relativamente rápida; microestrutura granular-fina no centro da solda; alta resistência à fadiga e capacidade para unir juntas dissimilares. Neste trabalho, placas da liga de Alumínio AA5083 H111 com 4mm de espessura foram soldadas por FSW. O objetivo do trabalho é avaliar propriedades mecânicas nas diferentes regiões da solda, visando estabelecer uma relação entre parâmetros de solda e desempenho da junta soldada. A caracterização inclui ensaios de tração, micro-tração e dureza. Além disso, aspectos macroestruturais da solda foram avaliados através de macrografias. O material apresentou bom desempenho mecânico nas diferentes regiões da junta soldada.

Palavras-chave: Friction Stir Welding, AA5083 H111, ensaios de tração.

I. 5º ENEMET – Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica e de Materiais- 2005- Belo Horizonte / Ouro Preto- M. G

II. Estudante de Engenharia Metalúrgica –LAMEF / UFRGS

III. Doutorando – LAMEF / UFRGS.

IV. Doutorando – GKSS Forschungszentrum GmbH

V. Doutor – GKSS Forschungszentrum GmbH

VI. Professor Doutor – LAMEF / UFRGS

2. Introdução

Friction Stir Welding (FSW) é um processo de soldagem no estado sólido que foi desenvolvido em 1991 pelo centro de pesquisa *The Welding Institute* (TWI) em Cambridge, na Inglaterra [1]. Este processo de soldagem tem como principal avanço, em relação aos processos convencionais (MIG e TIG), a capacidade de unir ligas consideradas de difícil soldagem, sendo aplicado com sucesso para todas ligas de alumínio em uma ampla faixa de espessuras.

O material é plastificado sob ações termo-mecânicas (calor e deformação plástica) não atingindo portanto a temperatura de fusão. Uma ferramenta é fixada próximo à junta a ser soldada, exercendo posteriormente uma carga normal à peça, sendo rotacionada à alta velocidade. A fricção causada pelo contato da ferramenta com a face da peça a ser soldada, fornece o calor necessário para plastificar o material (Figura 1). O material plastificado escoou em torno da ferramenta, consolidando-se e formando a junta soldada.

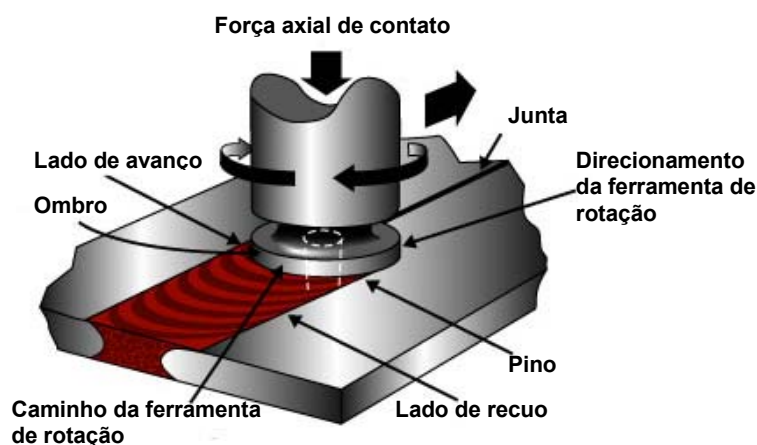


Figura 1 - Ilustração geral do processo de friction stir welding.

A deformação plástica resultante da pressão exercida pelo ombro da ferramenta na superfície das placas somada à deformação associada ao pino, produz uma solda com microestrutura mais fina que o material de base. Esta variação microestrutural ocorre devido à temperatura atingida no local da solda, a qual, agregada ao grau de deformação presente durante o processo, produz recristalização e recuperação a nível microestrutural.

A partir da junta obtida é possível verificar quatro regiões distintas. A Figura apresenta um esquema ilustrativo das zonas resultantes da soldagem por FSW, as quais são descritas como: A - metal base; B - zona termicamente afetada (ZTA); C - zona termomecanicamente afetada (ZTMA) e D - centro da solda.



Figura 2 – Diferentes regiões ao longo da junta soldada.

A liga utilizada no trabalho pertence a série 5xxx, a qual possui como principal elemento de adição o magnésio, que permite a essas ligas manterem um elevado nível de ductilidade, excelente resistência à corrosão e soldabilidade, além de um ganho de resistência mecânica. A série 5xxx constitui um importante grupo de ligas de alumínio não tratáveis termicamente, ou seja, não são endurecíveis por tratamento térmico de solubilização e envelhecimento, mas sim por solução sólida e encruamento (trabalho mecânico). Devido a elevada solubilidade do magnésio no alumínio, este, na maioria das vezes permanece em solução sólida no magnésio, contribuindo assim para o aumento da resistência mecânica. O encruamento é atribuído à interação de discordâncias com outras discordâncias e outras barreiras, como por exemplo, contornos de grão, os quais impedem o seu movimento através da rede cristalina. Essa deformação plástica é realizada em uma faixa de temperatura, e sob um intervalo de tempo tal que o encruamento não é aliviado. Esta liga ainda se destaca por uma ampla faixa de resistência e capacidade de apresentar excelente qualidade de acabamento superficial, como brilho intenso e baixa rugosidade. Essa combinação favorável amplia significativamente o uso dessas ligas, que com baixos teores de ferro e tratamentos adequados podem ser usadas na fabricação de acessórios para automóveis, componentes arquitetônicos e outras aplicações decorativas.

Em específico a liga AA5083, possui como principais elementos de adição o magnésio e manganês. Esta liga permite uma boa relação entre formabilidade e resistência à corrosão, combinada a uma moderada resistência mecânica. Aplicações típicas incluem a indústria automobilística, ferroviária, arquitetônica e marinha. Altos graus de conformabilidade são realizados a temperaturas entre 450 e 500°C, sendo posteriormente aplicado na placa, um jato de ar pressurizado para forçar esta a uma taxa de deformação controlada.

Na realização deste trabalho, primeiramente foram produzidas uma série de juntas soldadas por fricção stir welding, utilizando-se diferentes parâmetros de soldagem, com intuito de obter parâmetros ótimos para o processo. Os parâmetros variados foram: rotação da ferramenta, velocidade de soldagem e carga de soldagem (exercida pela ferramenta). Para determinação dos parâmetros ótimos, as juntas foram avaliadas através de análises macrográficas e ensaios de dobramento. Uma vez encontrados os parâmetros julgados como sendo ideais para o material e espessura em questão, uma série de testes foram realizados para avaliar as propriedades mecânicas da junta. Entre estes, destaca-se ensaio de tração convencional, ensaio de micro-tração para avaliação de propriedades mecânicas localizadas nas diferentes regiões da solda, além do ensaio de microdureza. Análise de aspectos macrográficos da junta também foi realizada. Através das investigações realizadas foi possível constatar um excelente acabamento da solda somado a um bom comportamento mecânico, resultado de um ótimo desempenho dos parâmetros escolhidos.

3. Materiais e Métodos

Neste trabalho, placas laminadas da liga AA5083 na condição H111, com 4mm de espessura, foram soldadas pelo processo FSW como junta de topo através de um sistema robotizado modelo Tricept 805 com controle CNC. Para tanto, baseado em testes prévios de dobramento e macroestrutura de soldas com diferentes parâmetros, os seguintes foram escolhidos: rotação de 800rpm; velocidade de avanço da ferramenta de 400 mm/min e força axial de 12.000N. A ferramenta utilizada na soldagem consiste de um ombro côncavo de 13mm de diâmetro, e pino tipo parafuso com 5mm de diâmetro. O ângulo de inclinação da ferramenta em relação a junta foi de 3°. A liga AA5083 apresenta composição química conforme demonstrado na Tabela 1 [3].

Tabela 1 - Composição química especificada da liga 5083.

Elemento	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
% peso	0,4 max.	0,4 max.	0,1 max.	0,4- 1,0	4,0- 4,9	0,05- 0,25	0,25 max.	0,15 max.	restant e

A fim de avaliar a qualidade da solda, macrografias foram feitas utilizando um microscópio óptico Leica DM IRM. As amostras foram cortadas transversalmente à solda e preparadas de acordo com procedimentos padrões de metalografia, sendo atacadas com o reagente Kroll (96 ml H₂O + 6 ml HNO₃ + 2 ml HF). Além da análise macrográfica foi realizado o ensaio de microdureza em um equipamento Struers HMV200 automatizado, utilizando-se a escala Vickers e carga de 0,2 kgf, foram feitas identações no material base e no centro da solda de acordo com a Figura 3.



Figura 3 – Ilustração das identações de microdureza na amostra [3]

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina de ensaios universal a fuso modelo Zwick 1484 (carga máxima de 200 kN), utilizando corpos de prova que possuem geometria plana, normalizada pela DIN 50125 com um comprimento inicial (l₀) de aproximadamente 78mm, (Figura 4) e velocidade do ensaio de 1 mm/min.

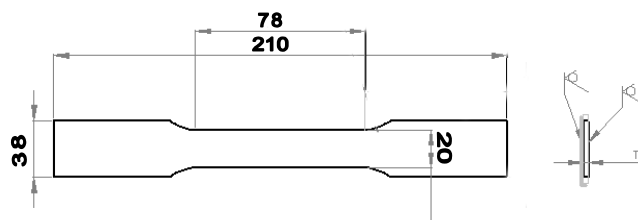


Figura 4 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de tração.

Alternativamente ao ensaio de tração convencional, realizou-se também ensaios de “micro-tração”, para avaliar a alteração na resistência de acordo com o gradiente de temperatura e deformação em que cada região da peça soldada é submetido. Para esse ensaio, foi utilizado uma máquina de ensaios universal modelo Instron 1195, a fuso. Devido ao pequeno tamanho da amostra, se utiliza um extensômetro a laser, que varre a amostra medindo a distância entre duas linhas previamente traçadas no corpo de prova, com um comprimento inicial (l_0) de 8mm. A carga de fundo de escala e velocidade do ensaio utilizadas são de 1 kN de 0,2 mm/min, respectivamente. A Figura 5 mostra um esquema de como é feita a retirada dos micro corpos de prova da placa.

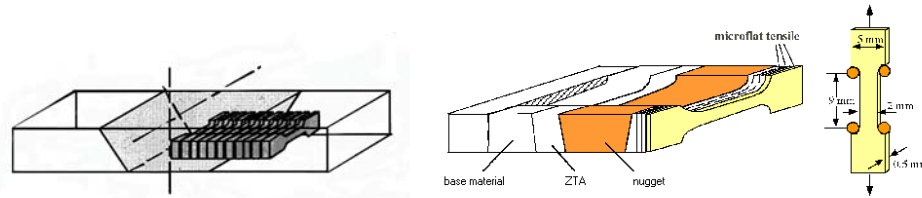


Figura 5 – Esquema, em perspectiva, mostrando a retirada dos micro corpos de prova de um bloco contendo a junta soldada e as zonas resultantes da solda.

4. Resultados e discussões

Macrografias

Através de uma macrografia da seção transversal da junta soldada, podemos observar o aspecto geral da mesma (Figura 6), a qual mostra completa penetração da solda e ausência de defeitos tais como vazios e falta de preenchimento. Também é possível observar as diferentes zonas da região soldada, tais como centro da solda, ZTMA, ZTA, além do material base.

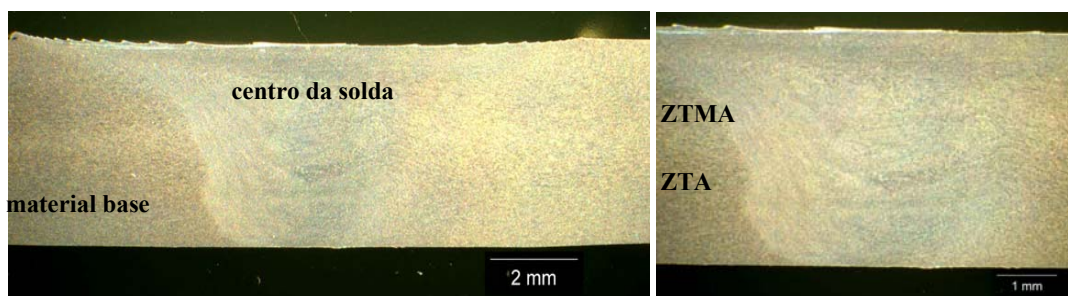


Figura 6 – Macrografia mostrando a morfologia da junta e o centro da solda em detalhe com as diferentes zonas encontradas .

Ensaio de Microdureza

O ensaio de microdureza foi realizado em duas regiões da solda (material base e centro da solda) com os resultados apresentados na **Tabela 2**. É possível observar que devido ao processo de soldagem a região do centro da solda

apresenta valores ligeiramente superiores ao material base representando um aumento de resistência mecânica na região soldada (*overmatching*).

Tabela 2 – Resultados do ensaio de microdureza.

Região	Dureza (HV0,2)
Material base	63,3 ± 1,9
Centro da solda	69,8 ± 0,7

Ensaio de Tração

Os resultados obtidos através do ensaio de tração das juntas soldadas (média de 3 valores), relacionando o limite de resistência à tração com o alongamento resultante, são mostrados na Figura 7 e Tabela 3, respectivamente. A Figura 8 apresenta os três corpos de prova de tração onde é possível observar o local de ruptura (material base). Este comportamento é o esperado, visto que a região do centro de solda apresenta valores de dureza maiores que o material base (*overmatching*). A perda de resistência no material ocasiona uma concentração de deformação nessa região, reduzindo sua capacidade de deformação sob ação de uma carga externa (carga de tração) resultando na ruptura do corpo de prova nessa região.

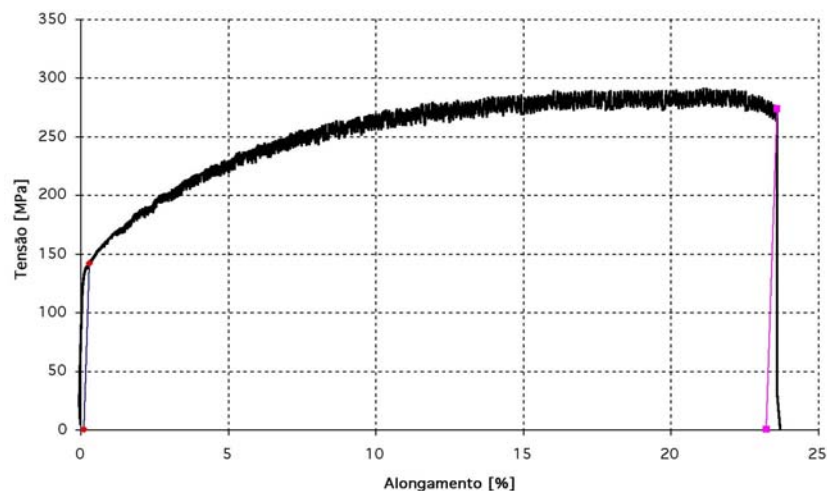


Figura 7 – Relação entre tensão e alongamento dos ensaios de tração nas juntas soldadas por FSW da liga AA5083 H111.

Tabela 3 – Propriedades mecânicas resultantes do ensaio de tração

Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência (MPa)	Alongamento (%)
142 ± 1,0	290 ± 0,6	23 ± 0,9



Figura 8 – Visão geral dos corpos de prova de tração mostrando o local de ruptura.

Ensaio de Micro-tração

A Figura 9 apresenta os resultados do ensaio de micro-tração, mostrando a resistência mecânica e alongamento ao longo das diferentes regiões da junta soldada. É possível observar no gráfico abaixo uma pequena variação nas propriedades de tração da liga com valores muito similares em todas as regiões da junta soldada demonstrando não haver perda de resistência mecânica ao longo das diferentes zonas de solda.

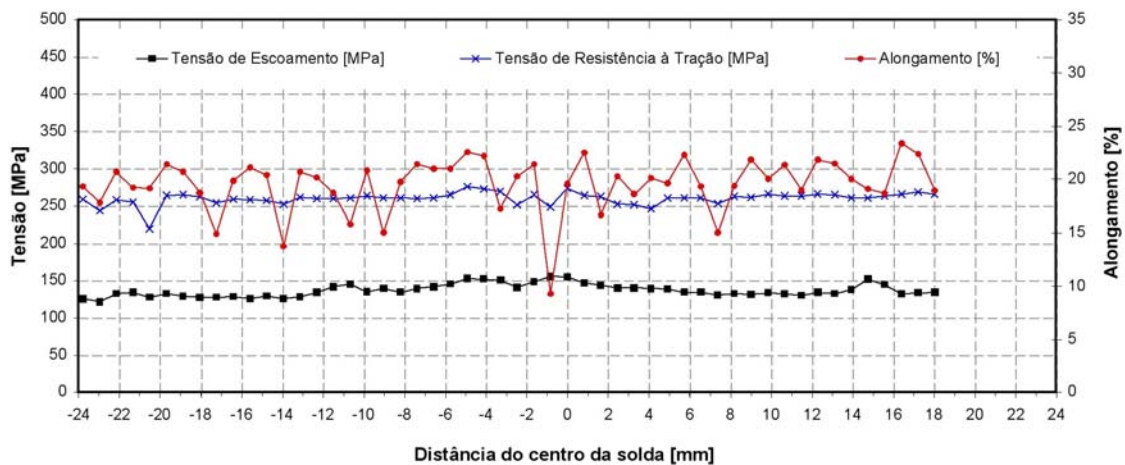


Figura 9 – Perfil de resistência mecânica e alongamento da junta similar AA5083 H111 soldada por FSW.

5. Conclusões

- Os resultados referentes à avaliação dos parâmetros de solda empregados neste trabalho demonstraram a produção de uma junta de boa qualidade e morfologia homogênea totalmente desprovida de quaisquer defeitos.
- A dureza evidencia um leve aumento na região central da solda, indicando um leve aumento na resistência mecânica nesta zona da junta soldada.

- O ensaio de tração convencional comprova o excelente comportamento mecânico da junta soldada, caracterizada principalmente pela ruptura de todos os corpos de prova no material base.

- O perfil de micro-tração demonstrou não haver perda de resistência mecânica ao longo das diferentes regiões da junta soldada.

6. Referências Bibliográficas

[1]. THOMAS, W. "Friction stir – where we are, and where were going" – TWI: TWI Bulletin, Volume 9 nº 8 – 1998.

[2]. MAHONEY, W.M; MISHRA, R; NELSON, T. "High strain rate superplasticity in thick section 7050 aluminium created by Friction Stir Welding" – anais do 3º Simpósio internacional de Friction Stir Welding, Kobe – Japan / 27 – 28 Setembro 2001.

[3]. PEEL, M; STEUWER, A; PREUSS, M; WITHERS, P. J. "Microstructure, mechanical properties and residual stresses as a function of welding speed in aluminium AA5083 friction stir welds". Acta Materialia 51 (2003) 4791 – 4801.

CHARACTERIZATION OF THE FRICTION STIR WELDED AA5083 ALUMINIUM ALLOY ^I

Elisabete Pinto da Silva^{II}

César Afonso Weis Oléa^{III}

Antonio Augusto Mônaco da Silva^{IV}

Jorge dos Santos^V

Telmo Roberto Strohaecker^{VI}

Abstract

Friction Stir Welding is a solid-state joining technique that can be successfully applied to all aluminium alloys in a wide range of thickness. The process consists in a rotating tool that is forced down onto the metal plates and moved relative to them, causing frictional heating and mechanical deformation. As the tool rotates along the joint, plasticized material is stirred and forged behind the tool by the tool shoulder. Plastic deformation causes recrystallisation of the microstructure producing a very fine grain structure in the weld nugget. The FSW process is characterized mainly by: a high joint quality, relatively high productivity, fine-grained microstructure in the nugget, high fatigue strengths and ability to join dissimilar alloys. In this work, 4mm-thick plates of AA5083 H111 were welded by FSW (butt-welds). The main objective was to evaluate the mechanical properties in the different regions of the weld, establishing a relationship between the weld parameters and the performance of the welded joint. The characterization includes tensile and microflat tensile tests as well as microhardness measurements. Macrostructural aspects of the weld were also evaluated. The material presented good mechanical behavior in the different regions of the welded joint.

Keywords: Friction Stir Welding (FSW), Al 5083 H111, tensile.

I. 5º ENEMET – Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica e de Materiais- 2005- Belo Horizonte / Ouro Preto- M. G

II. Metallurgical Engineering student –LAMEF / UFRGS

III. PhD student – LAMEF / UFRGS.

IV. PhD student – GKSS Forschungszentrum GmbH

V. Doctor – GKSS Forschungszentrum GmbH

VI. Professor Doctor – LAMEF / UFRGS