

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO DO OMBRO DA FERRAMENTA NA QUALIDADE DA SOLDAGEM FSW

Franciele da Silva Mota
fracielle2008@hotmail.com

Douglas Dias de Menezes
douglassddm2011@gmail.com

Resumo – A soldagem por fricção e mistura mecânica (FSW) é um processo de soldagem que ocorre no estado sólido, é considerado uma das inovações tecnológicas mais importantes na área da metalurgia da soldagem, e é amplamente utilizado para unir ligas de alumínio. A geometria da ferramenta é um parâmetro crítico que afeta a qualidade da solda e as propriedades da junta. Este trabalho investiga a influência do diâmetro do ombro da ferramenta na qualidade da junta soldada. Foram soldadas chapas de alumínio da liga AA 5083, utilizando ferramenta com ombro contendo estrias em espiral e diâmetro de 19 mm. O efeito da geometria do ombro foi analisado por inspeção visual, macrografias e ensaios de tração. As propriedades de tração das juntas foram avaliadas e correlacionadas como material base. Os resultados mostram que a ferramenta desenvolvida, com diâmetro de ombro de 19mm contendo estrias em espiral foi eficiente para obtenção de soldas pelo processo FSW, entretanto a qualidade da solda obtida não atende aos requisitos mínimos para aprovação.

Palavras-Chave: Soldagem FSW, Geometria de Ferramenta, Soldagem de Alumínio.

INTRODUÇÃO

O processo de soldagem FSW é um processo de união no estado sólido, que foi apresentado pelo TWI (*The Welding Institute*) em 1991, denominado de *Friction Stir Welding* (soldagem por fricção e mistura mecânica) (THOMAS *et al.*, 1991).

Neste processo, uma ferramenta rotativa de alta resistência mecânica é utilizada para, através do atrito com o metal base, gerar calor suficiente para promover a união das peças. A

ferramenta caracteriza-se por uma geometria típica, constituída de pino e ombro, responsáveis pela geração de calor e pela agitação do material na linha da solda. O calor gerado não é suficiente para fundir o material e a soldagem ocorre no estado sólido (CAPELARI, 2006; MISHRA e MA, 2005).

A Figura 1 ilustra esquematicamente o princípio de soldagem FSW.

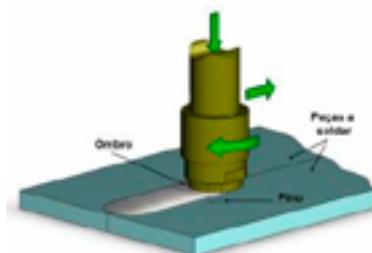


Figura 1. Representação esquemática do processo de soldagem FSW.

Fonte: Capelari (2006).

A ferramenta tem duas funções principais e fundamentais: o aquecimento das peças e promover a mistura dos materiais a fim de consolidar a união. O ombro é projetado para produzir calor na região superficial da peça a ser soldada, produz a maior parte do calor por atrito e deformação em soldagem de espessuras finas, enquanto que o pino produz a maior parte do calor em soldagem de espessuras maiores.

Então, um dos mais importantes parâmetros do ombro é seu diâmetro, pois está diretamente relacionado com o calor gerado por fricção (MEHTA *et al.*, 2011).

O grande desafio do processo FSW está em aperfeiçoar os parâmetros do equipamento que realiza a soldagem, juntamente com um perfil satisfatório da ferramenta. Estes fatores são dependentes uns dos outros, além de influenciarem na geração de calor no processo

e, por conseguinte, no aparecimento ou não de defeitos, ocasionados pelo escoamento do material aquecido. Nesse sentido, este trabalho investiga a influência do diâmetro do ombro da ferramenta na qualidade da solda obtida pelo processo FSW.

MATERIAL E MÉTODOS

O material base utilizado foram chapas de alumínio da liga AA 5083, com espessura nominal de 6,6 mm, nas dimensões de 100 x 300 mm. O equipamento utilizado para a realização da soldagem pelo processo FSW, foi o centro de usinagem de três eixos da *Deb'Maq*, série *Diplomat*, modelo *Skybull600*.

Para confecção da ferramenta de soldagem foi utilizado o aço AISI VC 131 normalizado. A ferramenta desenvolvida, apresentada na Figura 2, possui ombro com diâmetro de 19 mm contendo estrias em espiral, e pino com formato cônico roscado, com diâmetro de 6mm.



Figura 2. Ferramenta desenvolvida.
Fonte: Autora (2020).

Em relação aos parâmetros de soldagem, segundo Oliviecki (2012) e Presotto (2013), a velocidade de rotação mais adequada para o processo FSW é de 1450 rpm, onde há consolidação da solda, bom acabamento e resistência mecânica. Desta forma, esta velocidade de rotação foi utilizada. Schelski (2015) analisou diferentes parâmetros de soldagem utilizando ferramenta com ombro contendo estrias em espiral e pino cônico roscado, obtendo solda livre de defeitos e com propriedades mecânicas equivalentes à do metal base, quando utilizou velocidade de soldagem de 20 mm/min e profundidade de penetração

do ombro de 0,4 mm. Sendo assim, estes parâmetros de processo foram utilizados. As análises macrográficas e metalográficas foram realizadas através do corte transversal das soldas e preparadas segundo os procedimentos metalográficos padrões de lixamento e polimento. Após a preparação metalográfica, foi realizado o ataque químico com reagente água régia (um terço de água destilada, um terço de ácido nítrico (HNO₃) e um terço de ácido clorídrico (HCl)). As imagens das macrografias foram registradas com a utilização de um scanner.

Ensaio de tração uniaxial foram realizados, utilizando a máquina universal de ensaios da *Shimadzu*, com o objetivo de comparar a resistência mecânica do metal base em relação às amostras soldadas pelo processo FSW. O ensaio foi realizado de acordo com as recomendações da norma ASTM E8: “*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*”, na direção transversal à solda para determinação do limite de resistência à tração, escoamento e o alongamento das uniões soldadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o aspecto superficial da solda obtida. O consumo de potência da máquina manteve-se constante durante o início da solda, cerca de 19% da capacidade total, aumentando para 26% no decorrer da solda. A chapa soldada apresentou formação excessiva de rebarba, como é evidenciado na Figura 4. A rebarba formada tinha altura expressiva de aproximadamente 12 mm. Analisando visualmente, a solda apresenta um bom aspecto, sem defeitos visuais aparentes apesar da grande quantidade de rebarba. Não há vazios aparentes nem descontinuidades e a raiz da solda foi completamente preenchida.



Figura 3. Aspecto superficial do experimento.
Fonte: Autora (2020).



Figura 4. Formação excessiva de rebarbas.
Fonte: Autora (2020).

Na Figura 5 estão apresentadas as imagens das macrografias dos CP's. O núcleo da solda apresenta-se homogêneo, sem a presença de defeitos e com grãos refinados. A penetração na raiz foi suficiente para preencher toda a seção transversal da chapa e não se encontraram vazios internos.

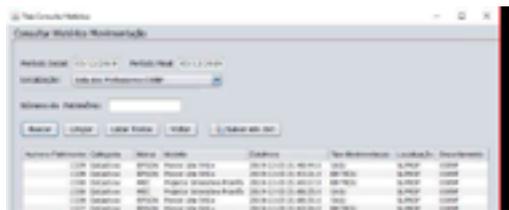


Figura 5. Macrografias.
Fonte: Autora (2020).

Os CP's foram usinados, fresados e submetidos aos ensaios de tração uniaxial, cujo resultado é apresentado na Figura 6, onde todos os CP's romperam na região da junta soldada, sendo possível verificar após os ensaios a presença de porosidades na solda.



Figura 6. Corpos de prova submetidos aos ensaios de tração.
Fonte: Autora (2020).

Os resultados obtidos por meio dos ensaios de tração estão apresentados na Tabela 1 e foram comparados com o material base (MB).

Corpo de prova	Tensão de escoamento [MPa]	Tensão máxima atingida [MPa]	Along. [%]
03	114,42	159,36	3,6
06	119,75	216,86	6
09	121,93	126,74	1
12	119,94	194,10	4
Média	119,01	174,27	3,65
Alumínio AA 5083	129,7	297,18	26,1

Tabela 1. Resultados dos ensaios de tração
Fonte: Autora (2020).

Por meio da Tabela 1 pode-se verificar que a solda obtida foi menos resistente que o MB. O alongamento dos CP's ensaiados foi mínimo, no CP 09 foi de apenas 1% sendo que o alongamento do MB é de 26,1%. A média da tensão de escoamento foi de 119,01 MPa, este valor está aproximadamente 9% abaixo da tensão de escoamento do MB (129,7 MPa), sendo esta redução aceitável pelo fato de a chapa ter passado por aquecimento durante a soldagem, reduzindo assim sua resistência mecânica. A tensão máxima atingida que corresponde ao limite de resistência à tração (máxima tensão que o material suporta sem se romper) teve resultados insatisfatórios, obtendo-se média de apenas 174,27MPa, sendo que a tensão máxima do MB é 297,18 MPa. A norma ISO 25239-4:2011 "Friction Stir Welding – Aluminium – Specification and qualification of welding procedures" especifica que a eficiência da junta soldada para o limite de resistência à tração de ligas de alumínio na condição de tratamento O (recozida), não deve ser menor que o mínimo valor do MB. No caso deste trabalho, que foi utilizada a liga de alumínio AA 5083, o valor do limite de resistência à tração é de 297,18 MPa, comprovando a reprovação deste experimento, pois todos os CP's ficaram com valores bem abaixo do valor do MB.

CONCLUSÕES

O processo FSW é uma solução promissora para a soldagem de alumínio em vários setores da indústria. Os parâmetros atribuídos ao processo e a geometria da ferramenta são os fatores que influenciam na qualidade da solda obtida, sendo possível aperfeiçoá-los para a obtenção de melhores resultados. Em relação ao experimento realizado, o desempenho da ferramenta com geometria de pino cônico roscado e ombro com diâmetro de 19 mm contendo estrias em espiral, mostrou-se eficiente na obtenção da solda, entretanto, com a realização dos ensaios de tração, houve rompimento da junta soldada, não podendo validar este experimento.

Sobre os parâmetros de soldagem, pode-se comprovar os estudos realizados por Oliviecki (2012) e Presotto (2013) em relação à velocidade de rotação, obtendo uma solda bem consolidada e livre de defeitos. Também comprovando os estudos de Schelski (2015) em relação à velocidade de soldagem e penetração do ombro da ferramenta. No entanto, esta velocidade de avanço é inapropriada para uso na indústria, pois acaba sendo muito lenta e o custo do processo se torna muito elevado.

CONCLUSÕES

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 8: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**. 2013.

CAPELARI, T. V. **Avaliação do Desempenho de Ferramentas na Soldagem de Alumínio AA 5052 pelo Processo FSW**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Porto Alegre - RS, 2006.

ISO 25239-4:2011. Friction Stir Welding – Aluminium – Part 4: Specification and Qualification of Welding Procedures.

International Standard Organization. Suisse, Geneva, 15 dec. 2011.

MEHTA, M.; ARORA, A.; DE, A.; DEBROY, T. Tool Geometry for Friction Stir Welding-Optimum Shoulder Diameter. **Metallurgical and Materials Transactions**, p. 2716-2742, 2011.

MISHRA, R. S. e MA, Z. Y. Friction Stir Welding and Processing. **Materials Science and Engineering**, USA, vol. 50, p. 1-78, 2005.

OLIVIECKI, N. J. **Análise dos Parâmetros do Processo de Solda por Fricção em Liga de Alumínio**. 2012. TFC: Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da URI, Erechim, 2012.

PRESOTTO, M. L. **Avaliação de Ferramentas e Parâmetros do Processo de Soldagem por Fricção e Mistura Mecânica em Liga de Alumínio**. 2013. TFC: Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da URI, Erechim, 2013.

SCHELSKI, E. R. **Análise dos Parâmetros de Soldagem pelo Processo FSW em Chapas de Alumínio AA 5083**. 2015. TFC: Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da URI, Erechim, 2015.

THOMAS, W. M.; NICHOLAS, E. D.; NEEDHAM, J. C.; MURCH, M. G.; TEMPLESMITH, P.; DAWES, C. J. **Friction Stir Butt Welding. International Patent Application PCT/GB92/02203 and G.B. Patent Application 9125978.8**, Dec. 1991.