

Desenvolvimento de suporte de fixação para friction stir processing

Development of fixation support for friction stir processing

RESUMO

Matheus Busnardo Néia
matheusneia@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Luciano Augusto Lourençato
lalouren@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Hipólito Domingo Carvajal Fals
hipolitofals@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Roger Navarro Verastegui
rogerverastegui@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Processos derivados do *Friction Stir Welding* têm sido desenvolvidos ao longo das últimas décadas. O *Friction Stir Processing* (FSP) surgiu como alternativa interessante para realizar modificações microestruturais e corrigir defeitos de soldagem. O processo de FSP é influenciado por vários parâmetros, por exemplo, velocidade de rotação da ferramenta, velocidade de avanço da ferramenta, geometria da ferramenta e geometria do bloco de fixação. No presente artigo, desenvolveu-se novo bloco de fixação para melhor execução do processo e avaliaram-se três ferramentas para definir qual delas é mais eficiente para o processo. Processes derived from Friction Stir Welding have been developed over the past few decades. Friction Stir Processing (FSP) has emerged as an interesting alternative to perform microstructural modifications and correct welding defects. The FSP process is influenced by several parameters, for example, tool rotation speed, tool advance speed, tool geometry and geometry of fixation block. In this article, a new fixation block was developed to get a better perform of the process and three tools were evaluated to define which one is more efficient for the process.

PALAVRAS-CHAVE: *Friction Stir Processing*. Modificação microestrutural. Bloco de fixação.

ABSTRACT

Processes derived from Friction Stir Welding have been developed over the past few decades. Friction Stir Processing (FSP) has emerged as an interesting alternative to perform microstructural modifications and correct welding defects. The FSP process is influenced by several parameters, for example, tool rotation speed, tool advance speed, tool geometry and geometry of fixation block. In this article, a new fixation block was developed to get a better perform of the process and three tools were evaluated to define which one is more efficient for the process.

KEYWORDS: Friction Stir Processing. Microstructural modification. Fixation Block.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

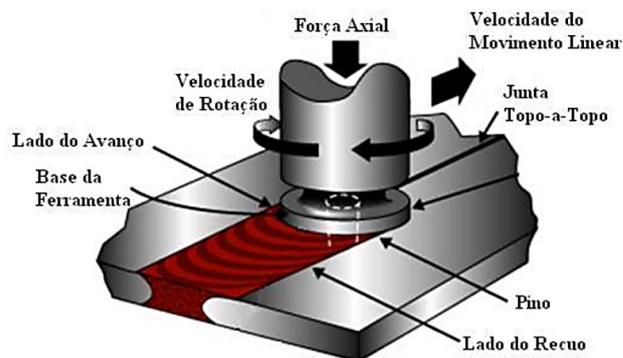
Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

As dificuldades em realizar a união de partes de alumínio por meio de processos de soldagem por fusão, levou à busca de maneiras mais eficientes de realizar a junção de peças. Em 1991, no *The Welding Institute* (TWI), foi desenvolvida uma técnica inovadora de soldagem no estado sólido. A técnica desenvolvida, por fricção e agitação *Friction Stir Welding* (FSW), consiste em uma ferramenta rotativa não consumível que é inserida no limiar das chapas a serem unidas e depois percorre a junta. A ferramenta é constituída de pino e ombro. O pino é responsável por penetrar a peça e promover deformação plástica entre as peças para promover a união, enquanto o ombro tem por função produzir calor e conter o material aquecido, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 – Representação esquemática do processo FSW



Fonte: LAPÃO (2008).

Segundo Mishra et al. (2007) as vantagens do FSW são inúmeras, por não atingir altas temperaturas, produz uma região termicamente afetada menor, conservando assim as propriedades mecânicas da liga trabalhada. Além disso, a solda apresenta menos defeitos quando comparada a outros tipos de soldagem, principalmente quando o metal utilizado é o alumínio (durante a solidificação do material depositado, os diferentes coeficientes de dilatação térmica das fases ocasionam o surgimento de trincas na união). Por fim, é um processo mais sustentável quando comparado com os processos de soldagem convencionais tendo em vista que não produz gases, não utiliza consumíveis (eletrodos, varetas de tungstênio, etc) e consome menos energia. Por estes motivos, é considerado um dos grandes avanços na área de soldagem das últimas décadas.

Após as análises das uniões de 7075AL, Mahoney et al. (1998) observou diminuição importante no tamanho de grão da zona processada, chegando a observar grãos de $3\mu\text{m}$ de diâmetro. A partir de então foi constatado que a mesma técnica poderia ser adaptada e utilizada para provocar diminuição no tamanho dos grãos e conseqüentemente modificação microestrutural. Este método de processamento de materiais foi chamado de *Friction Stir Processing* (FSP).

A viabilidade de usar o FSP foi mostrada por Mishra et al. (1999), para produzir microestrutura favorável para obtenção de altas taxas de deformação e superplasticidade em ligas de alumínio comercial [4]. Segundo Z.Y. MA (2008), dentre as aplicações das modificações microestruturais estão: microestrutura homogênea, controle das propriedades e da profundidade atingida por meio dos

parâmetros da ferramenta e refinamento de grãos – e com este, a possibilidade de se obter altas taxas de deformação em ligas superplásticas. Com o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, novas aplicações foram descobertas para o FSP, dentre elas pode-se citar a obtenção de materiais compósitos.

Após o processamento da superfície, observam algumas características no material. A peça pode ser dividida em quatro zonas distintas: zona do nugget (*Nugget Zone* - NZ), zona termomecanicamente afetada (*Thermomechanically Affected Zone* -TMAZ), zona afetada termicamente (*Heat Affected Zone* -HAZ) e metal base (*Base Metal* - BM). A NZ é a região onde o pino da ferramenta entra em contato com a peça e provoca uma deformação plástica intensa, e é caracterizada por ser a região onde os grãos podem ser totalmente recristalizados e forma sub-regiões em forma de anéis com diferentes estados de deformação plástica. A TMAZ é a região na qual o material sofre influência do calor e da deformação plástica do material, a TMAZ apresenta grãos recristalizados e recuperados, com zonas com grãos alongados que favorecem a plasticidade do material. A zona afetada pelo calor (HAZ) sofre modificações na microestrutura e/ou propriedades devido ao ciclo térmico ao qual a região é submetida, entretanto não apresenta deformação plástica. Por fim, o metal base (BM) é a região que não apresenta modificações devido ao processo, é o metal sem ser processado.

Os parâmetros do processo FSP, como são: tipo de ferramenta (ombro e pino), força, rotação, velocidade de avanço e inclinação da ferramenta, definem a qualidade e propriedades da zona processada. O efeito da combinação destes parâmetros tem sido amplamente estudado e o controle evita a formação de defeitos e falhas.

O FSP pode ser realizado em fresadoras convencionais se algumas modificações tecnológicas que garantam controle dos parâmetros do processo, forem realizadas. O presente trabalho, tem como principal objetivo estudar a influência da geometria e da velocidade de avanço da ferramenta na microestrutura e nas propriedades mecânicas do material. Para tal, foram propostas melhorias no bloco de fixação de chapas para FSP em fresadora convencional, de modo a garantir uniformidade e nivelamento da estrutura, versatilidade em relação aos tamanhos de chapas suportadas e facilidade de manuseio.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo, foram utilizadas chapas de alumínio 1050 – alumínio puro, sem elementos de liga – com espessura de 5mm. Para caracterização do alumínio foi realizada espectrometria de emissão óptica. O resultado confirma que em média 99,2% do metal é composto de alumínio. As chapas foram cortadas em pequenos pedaços de 200x100mm, para serem processadas.

O laboratório dispunha de três ferramentas disponíveis. Estas possuem diferentes geometrias. Todas as ferramentas possuem ombro reto, a principal diferença entre elas é a geometria do pino. A ferramenta 1 possui pino cilíndrico, a ferramenta 2 possui pino cônico e a ferramenta 3 possui pino com três “degraus” de diferentes diâmetros (figura 2). Como a literatura sobre ferramentas apresenta muitas hipóteses variadas, optou-se por testar todas as três ferramentas com os

parâmetros disponíveis e então definir duas delas para serem utilizadas nos experimentos finais.

Figura 2 – Ferramentas da esquerda para a direita: 1,2 e 3



Fonte: Autoria própria (2020).

A fresadora Cardoso FC-30 (figura 3) utilizada possui seis diferentes velocidades de avanço: 30mm/s, 45mm/s, 60mm/s, 80mm/s, 120mm/s e 160mm/s. As rotações disponíveis no equipamento são: 180rpm, 300rpm, 390rpm, 500rpm, 600rpm, 1200rpm e 2100rpm.

Figura 3 – Fresadora Cardoso FC-30 com aparato FSP



Fonte: Autoria própria (2019).

Após a preparação das chapas e definição das ferramentas, foram definidos os parâmetros a serem utilizados. A velocidade de avanço, a ferramenta de processamento e a profundidade de penetração (vale ressaltar que essa depende da altura do pino) foram definidos como parâmetros variáveis. A rotação da máquina foi fixada em 2100rpm.

O processamento por FSP foi realizado em passe único para cada condição pré-determinada. O processo consistiu em, primeiramente, realizar o *plunge* (penetração da ferramenta na chapa) de acordo com o pino da ferramenta. Após

a penetração completa, esperar um tempo com a ferramenta rotacionando em posição fixa – este procedimento promove o aquecimento da peça, fazendo com que a liga fique menos resistente ao avanço da ferramenta – por dez segundos. Tendo concluído essas etapas, foi iniciado o avanço da ferramenta.

Durante a realização dos experimentos, foram feitas aferições de planicidade do bloco de suporte das peças. Com o auxílio do relógio comparador semelhante ao da figura 3, foi constatado que o bloco não apresentava a planicidade desejada para a realização dos passes FSP e se definiu a zona útil da mesa para evitar falhas por falta de planicidade. Então, estudou-se novas proposta de projeto para fabricar novas possibilidades de fixação das chapas na mesa.

Após a realização do processamento das chapas, estas foram cortadas e preparadas a fim de realizar caracterização microestrutural nas peças. Primeiramente as chapas foram cortadas transversalmente ao sentido de avanço da ferramenta, em seguida as chapas foram lixadas. Preparou-se solução química de *marble* para o ataque das amostras. Por fim, utilizou-se o software *ImageJ* para avaliação prévia das amostras.

Infelizmente, devido à pandemia de COVID-19 não foi possível concluir as análises da geometria e microestruturais com auxílio do microscópio óptico. Entretanto, aproveitou-se o tempo no qual a pandemia impossibilitou trabalhos presenciais no laboratório, para desenvolver novo suporte de fixação das chapas, a fim de corrigir os problemas encontrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a preparação das amostras e análises pelo software *ImageJ*, foi possível perceber alguns defeitos. Várias amostras das condições da ferramenta 1 apresentaram “buraco de minhoca”. Segundo Bin Saniman, “buraco de minhoca” é a formação de vazios (cavidades) no interior da solda. Estes defeitos enfraquecem consideravelmente as propriedades mecânicas, uma vez que acarreta diminuição da área processada. No quadro 1 se relacionam as amostras que apresentaram defeito após o processamento. Alguns defeitos se apresentaram na seção transversal e outros com irregularidades superficiais. Imagens das seções transversais de todas as condições se mostram na figura 4.

Quadro 1 – Relação de defeitos de amostras

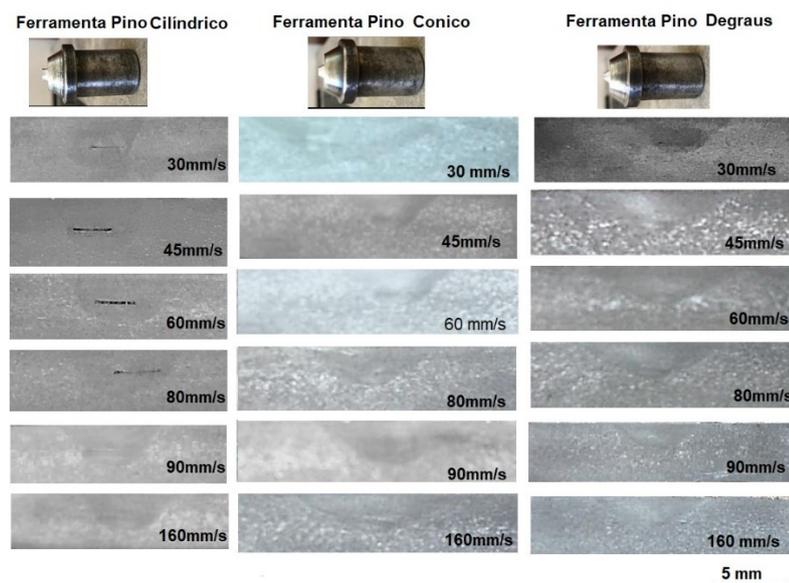
| Amostra | Defeitos | Amostra | Defeitos |
|---------|----------|---------|----------|
| 1.1 | Sim | 2.4 | Sim |
| 1.2 | Sim | 2.5 | Não |
| 1.3 | Sim | 2.6 | Não |
| 1.4 | Sim | 3.1 | Sim |
| 1.5 | Não | 3.2 | Não |
| 1.6 | Não | 3.3 | Não |
| 2.1 | Não | 3.4 | Não |
| 2.2 | Não | 3.5 | Não |
| 2.3 | Não | 3.6 | Não |

Fonte: Autoria própria (2019).

Como citado anteriormente, a única análise feita foi a análise de defeitos, em decorrência da pandemia de COVID-19. Mas, durante os experimentos, várias amostras foram descartadas por conta de defeitos, como falta de penetração. Após aferidas as dimensões do bloco de fixação existente, ficou evidenciado que este apresentava desnível na superfície.

Esse desnível faz com que a ferramenta comece avançando com a profundidade definida no desenho do experimento e ao longo do seu percurso sofra alterações nesse parâmetro. Além disso, foi levantada a questão dos tamanhos de chapas suportados por conta do sistema de fixação ineficiente.

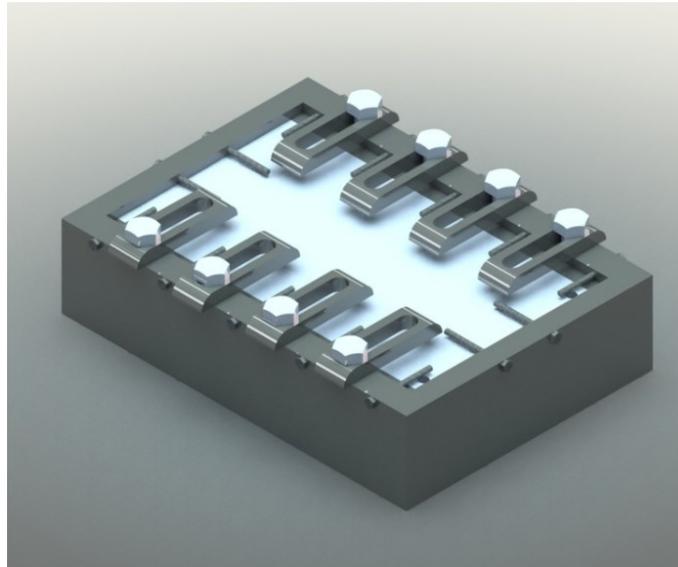
Figura 4 – Imagens das seções transversais das amostras em cada condição e tipos de ferramenta



Fonte: Autoria própria (2020).

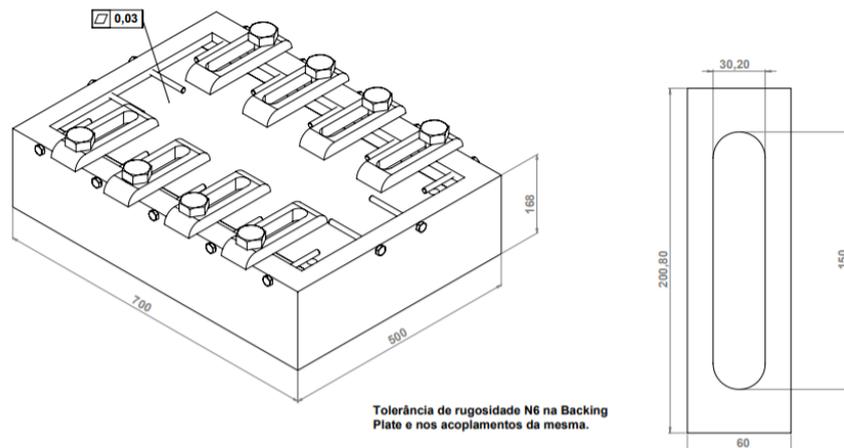
Partindo desses pressupostos, foi projetado um sistema de fixação mais versátil – de modo que este aceite maior tamanhos de chapas para processamento – e também mais robusto, com o intuito de não sofrer alterações superficiais durante os esforços sofridos no processo. Os mordentes de fixação vertical são ajustáveis, permitindo assim a utilização de chapas de maiores larguras. Os parafusos inseridos na lateral do projeto têm a função de travar a chapa a ser processada no sentido horizontal, esses parafusos podem ser substituídos por barras roscadas no tamanho desejado. Essa substituição permite uma gama ainda maior de larguras e comprimentos de chapa. A *backing plate* (chapa colocada sobre o bloco, de fácil remoção) é presa ao corpo grande do bloco. O projeto do bloco pode ser visto na figura 5 e as cotas na figura 6.

Figura 5 – Imagem 3D do Projeto do bloco de fixação



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 6 – Medidas do projeto do bloco de fixação e mordentes.



Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

Os resultados defeituosos podem ser atribuídos aos defeitos de geometria do bloco de fixação. Espera-se que o novo sistema de fixação proporcione maior qualidade e versatilidade ao processo.

Não foi possível obter informações a respeito das microestruturas e propriedades mecânicas das amostras. Para futuros trabalhos, a análise microestrutural e ensaios mecânicos devem ser realizados, a fim de se obter formas de mensurar a qualidade do processo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná por ceder espaço para a pesquisa, a Fundação Araucária de Apoio ao desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná e ao DIRPPG pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

BIN SANIMAN, A. H. **Study of Relation Between Pin Tool Geometry with Formation of Wormhole in FSW of Aluminium AA5083**. 2015, 60 f. Bachelor (Engineering Mechanical) – Universiti Teknologi Petronas, 2015.

NOMURA, L.H.S. **Bioarte Brasileira e Vida Artificial: Investigaçao Teórica e Prática Artística**. 2011, 173f. Dissertação (Mestrado em Cultura Visual) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2011. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/2789>. Acesso em: 3 jul. 2020.

Lapão. P.J.T. **Soldadura por fricção linear de ligas de alumínio: Influência das propriedades do material**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -- Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal, 2008. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/20298>. Acesso em: 15 jul. 2020.

MA, Z.Y. Friction Stir Processing Technology: A review. **The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International**, v. 39, p. 642-658, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/225589930_Friction_Stir_Processing_Technology_A_Review. Acesso em: 26 jul. 2020

MAHONEY, M.W.; et al. Properties of friction-stir-welded 7075 T651 aluminum. **Metallurgical and Materials Transactions A**, v. 29, p. 1955–1964, 1998. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11661-998-0021-5#citeas>. Acesso em: 14 jul. 2020.

MISHRA, R.S.; et al. High Strain Rate Superplasticity in a Friction Stir Preprocessed 7075 Al Alloy. **Scripta Mater**, v. 42, p. 163-168, 1999.

MISHRA, R.S; MAHONEY, M.W. Friction Stir Welding and Processing. **ASM International**, 2007.