

## 14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

### ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE FERRAMENTAS EM METAL DURO PARA SOLDAGEM FSW DE CHAPAS DE AÇO INOX 316L

MARIA EDUARDA D. OLIVEIRA<sup>1</sup>, FRANCISCO M. F. A. VARASQUIM<sup>2</sup>, ELI J. C. JUNIOR<sup>3</sup>,  
ALEXANDRE C. FAUSTINO<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Estudante em Técnico em Eletromecânica Integrado ao Ensino Médio, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Itapetinga, diniz.maria@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup> Professor na área da Indústria no IFSP Campus Itapetininga, franciscomateus@ifsp.edu.br

<sup>3</sup> Professor na área da Indústria no IFSP Campus Itapetininga, dacruz.elij@ifsp.edu.br

<sup>4</sup> Técnico do laboratório de mecânica na área da Indústria no IFSP Campus Itapetininga, alexandre.faustino@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.05.05-4 Processos de fabricação e seleção econômica

**RESUMO:** A soldagem por fricção e atrito (*Friction Stir Welding – FSW*) é uma técnica que utiliza o calor gerado pela fricção entre a ferramenta e a superfície dos materiais a serem soldados. Com essa técnica, não é necessário atingir a temperatura de fusão do material, o que implica numa microestrutura diferente das obtidas nos processos convencionais de soldagem por fusão, podendo haver a minimização de defeitos como deformação, trincas térmicas, porosidade, oxidação que são comuns em soldagem por fusão. Este trabalho busca compreender a viabilidade da aplicação de ferramentas de metal duro no processo FSW em chapas de aço inox 316L, avaliando a influência do ângulo da ferramenta na qualidade da microestrutura do cordão de solda. Para a realização dos testes foi utilizado um centro de usinagem com 5 eixos da marca Pinacle modelo AX450. As ferramentas e seu perfil foram fabricados em metal duro pela empresa Altalede. Os ensaios foram realizados utilizando 800 rpm, avanço de penetração de 5 mm/min e avanço soldagem linear de 30 mm/min, com uma angulação de 3° da ferramenta. A inspeção da qualidade da solda foi feita através de imagens de macro e micrografia. A ferramenta suportou o ensaio com esses parâmetros.

**PALAVRAS-CHAVE:** FSW; fricção; metal duro; aço inox 316L; microestrutura.

### FEASIBILITY STUDY OF THE USE OF CARBIDE TOOLS FOR FSW WELDING OF 316L STAINLESS STEEL SHEETS

**ABSTRACT:** Friction Stir Welding (FSW) is a technique that uses the heat generated by friction between the tool and the surface of the materials to be welded. With this technique, it is not necessary to reach the melting temperature of the material, which implies a microstructure different from those obtained in conventional fusion welding processes, and there may be a minimization of defects such as deformation, thermal cracks, porosity, oxidation that are common in fusion welding. This work seeks to understand the feasibility of applying carbide tools in the FSW process in 316L stainless steel plates, evaluating the influence of the tool angle on the quality of the microstructure of the weld bead. For the tests, a 5-axis machining center of the Pinacle brand model AX450 was used. The tools and their profile were manufactured in carbide by the company Altalede. The tests were carried out using 800 rpm, penetration feed of 5 mm/min and linear welding feed of 30 mm/min, with an angulation of 3° of the tool. The inspection of the weld quality was done through macro and micrographic images. The tool withstood the test with these parameters.

**KEYWORDS:** FSW; friction; carbide; 316L stainless steel; microstructure.

## INTRODUÇÃO

Mundialmente, a utilização de aços inoxidáveis austeníticos vêm crescendo em diversos setores industriais, uma consequência da abrangência de propriedades favoráveis desse material, como resistência à corrosão e à oxidação, resistência mecânica a quente, trabalhidade e soldabilidade, possíveis por conta da adição de elementos estabilizadores da microestrutura austenítica, o cromo, níquel e manganês (Luz, 2002). O AISI 316L é um aço inoxidável austenítico composto por molibdênio, muito utilizado em diversos setores industriais por conta de suas excelentes propriedades mecânicas. Contudo, sua resistência à altas temperaturas é reduzida, o que compromete a microestrutura do material quando submetido ao processo de soldagem convencional (Murugan; Ramachandran; Shashi Kumar, 2019).

Tendo em vista essa problemática, a soldagem por fricção e atrito (FSW) surge como uma alternativa para viabilizar a união do AISI 316L, já que não exige que a temperatura de fusão do material seja atingida (Liu; Nelson, 2017). O processo FSW é realizado a partir de uma ferramenta rotativa com um pino central não consumível, forçada e deslocada sobre a linha da junta. O atrito gerado com o movimento da ferramenta e a superfície produz calor, resultando no escoamento do material e sua deformação (Capelari; Mazzaferro, 2009). Esse processo apresenta grande potencial para minimizar defeitos que podem ocorrer durante as soldagens convencionais. O objetivo principal deste trabalho é estudar a viabilidade do uso de ferramentas de metal duro na soldagem FSW do AISI 316L, e com isso diminuir o custo do ferramental utilizado para tal processo.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Ferramenta:** O material escolhido para a fabricação das ferramentas foi o metal duro (carbeto de tungstênio). De acordo com a empresa brasileira Macéa (2023), esse material é um composto químico obtido através do processo de carburação do tungstênio, muito utilizado em aplicações que exigem alta dureza e resistência ao desgaste. Nesse projeto, as características termomecânicas avaliadas como mais relevantes do carbeto de tungstênio foram a densidade, a dureza, a temperatura máxima de trabalho e o ponto de fusão, listada a seguir na Tabela 1.

TABELA 1. Características termodinâmicas do Carbeto de Tungstênio

Densidade	19,25 g/cm <sup>3</sup>
Dureza Vickers (HV, 5600G)	20 GPa
Temperatura máxima de trabalho	1400°C
Ponto de fusão	2777°C

Fonte: Macéa, 2023

Com esses dados, avaliou-se que o carbeto de tungstênio seria a melhor opção para a confecção das ferramentas. Em relação aos seus parâmetros, constitui-se basicamente de uma haste de fixação de 12 mm de diâmetro, um ombro e um pino côncico com 2,7 mm de altura e base de 6 mm de diâmetro. (Figura 1).

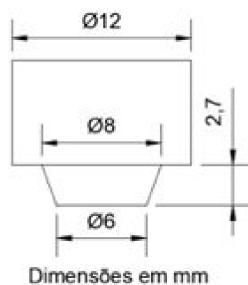


FIGURA 1. Dimensões do pino escolhido

Fonte: Próprio autor

**Corpo de prova:** Os corpos de prova utilizados foram chapas de aço inox 316L com 100 mm de comprimento, 20 mm de largura e 3 mm de espessura (Figura 3), soldadas a partir da técnica *bead on plate*. Essas dimensões são adequadas para um cordão de solda de 50 mm.



FIGURA 3. Dimensões do corpo de prova

Fonte: Próprio autor

Cada um deles foi confeccionado a partir de uma chapa de aço cortada por eletroerosão em uma Novick AR1300 (Figura 4).



FIGURA 4. Electrocut Novick AR1300

Fonte: Próprio autor

**Processo FSW:** A soldagem das chapas foi realizada em um centro de usinagem CNC de 5 eixos da marca *Pinacle* modelo AX450 integrado a um módulo CNC da Siemens modelo 848D (Figura 5), com uma rotação de 800 rpm, avanço de penetração de 5 mm/min e avanço linear de 30 mm/min, parâmetros adotados com base na literatura. O ângulo da ferramenta foi de 3°.

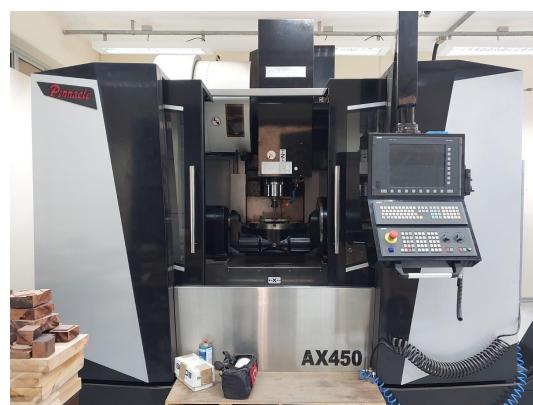


FIGURA 5. Centro de usinagem CNC de 5 eixos

Fonte: Próprio autor

**Análises:** Após a realização dos ensaios preliminares serão realizadas as análises de dureza e verificada a formação de carbonetos em três regiões da peça soldada: entrada, meio e saída da ferramenta, para isso, tais regiões deverão ser embutidas em baquelite.

Para a análise de dureza, se utilizará um durômetro computadorizado Emco-Test Dura Vision. Para as micrografias, as peças serão submetidas a ataques químicos capazes de revelar detalhes da microestrutura do material, possibilitando melhores ponderações qualitativas e quantitativas nas análises realizadas por meio de microscopia óptica em um microscópio Zeiss AxioLab.A1, acoplado a uma câmera digital ZEISS modelo Axiocam ERc5s, sincronizado a um analisador de imagens Axio Vision Rel 4.8

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Ferramenta:** A primeira etapa foi a tentativa de confeccionar a ferramenta utilizando um torno convencional adaptado com uma microretífica (Figura 6).



FIGURA 6. Tentativa da confecção da ferramenta

Fonte: Próprio autor

Embora os rebolos da retífica não se mostrarem eficientes para completar o procedimento, o dispositivo se mostrou funcional. A alternativa encontrada para o seguimento do projeto foi a confecção da ferramenta com o auxílio da Altalede, uma empresa de Indaiatuba/SP especializada na produção de ferramentas de usinagem personalizadas.

**Ensaio teste:** Com intuito de calibrar o maquinário para o início dos ensaios preliminares, um primeiro teste foi realizado, confirmando que os parâmetros escolhidos mostraram-se parcialmente efetivos no processo de soldagem (Figura 7).

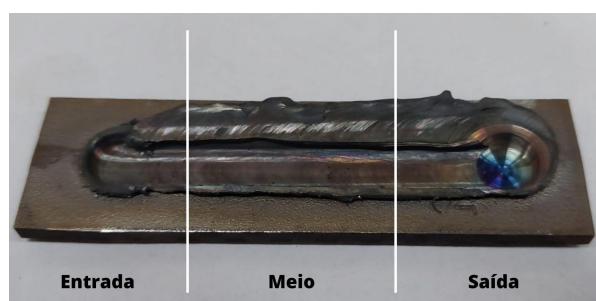


FIGURA 7. Divisões das regiões do corpo de prova após primeiro teste

Fonte: Próprio autor

Nesse primeiro momento, a qualidade do cordão de solda não foi avaliada sistematicamente. Contudo, através da inspeção visual do corpo de prova, percebe-se a formação de duas regiões de escoamento de material. Para melhores análises desse escoamento, uma parte da região do meio do corpo de prova foi embutida em baquelite (Figura 8).



FIGURA 8. Parte do corpo de prova embutida em baquelite

Fonte: Próprio autor

Com essa amostra, verificou-se que as regiões formadas procederam de um mau zeramento da ferramenta no início do ensaio, fazendo com que seu ombro não penetrasse adequadamente no corpo de prova. Com essa folga na penetração, o material encontrou espaços para escoar, o que explica a formação do plano de avanço da Figura 8. Além disso, verificou-se que a ferramenta não sofreu nenhuma alteração dimensional, apenas uma oxidação, mantendo-se funcional para outros ensaios (Figura 9).



FIGURA 9. Ferramenta após primeiro teste

Fonte: Próprio autor

## CONCLUSÕES

Apesar dos testes preliminares não terem sido finalizados até o momento, o primeiro teste realizado trouxe respostas positivas acerca do objetivo principal do projeto, o uso de ferramentas de metal duro como uma forma de minimizar os custos do processo. Percebe-se que a ferramenta consegue suportar as temperaturas envolvidas sem apresentar deformações aparentes. Após a realização dos ensaios espera-se que os parâmetros do processo de soldagem possam ser analisados de forma mais sistemática e, com isso, apresentem cordões de solda livres de imperfeições e que com

boas propriedades mecânicas, possibilitando o uso do material em soldagens de larga escala com um custo reduzido.

## **CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES**

M.E.D.O foi bolsista do projeto, contribuindo para a execução dos ensaios, a escrita e a confecção do trabalho. F.M.F.A.V. foi o orientador do projeto, contribuindo para o preparo e execução dos ensaios, e a revisão do trabalho. E.J.C.J. foi co-orientador do projeto, atuando na execução dos ensaios. A.C.F. auxiliou no preparo e execução dos ensaios.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradecemos a instituição por todo apoio oferecido para o andamento do projeto, além de toda estrutura necessária para a realização dos ensaios. Agradecemos também o programa PIBIFSP pela oportunidade de bolsa concedida e, finalmente, a empresa Altalede pela confecção e doação das ferramentas.

## **REFERÊNCIAS**

CAPELARI, T. V.; MAZZAFERRO, J. A. E. **Avaliação da geometria de ferramenta e parâmetros do processo FSW na soldagem da liga de alumínio AA 5052**. Soldagem & Inspeção, [s. l.], v. 14, p. 215–227, 2009.

KUMAR S. S.; MURUGAN N.; RAMACHANDRAN K.K. , **Identifying the optimal FSW process parameters for maximizing the tensile strength of friction stir welded AISI 316L butt joints**, Measurement Measurement, 137 (2019) 257–271, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.023>

LIU, F.C.; NELSON, T.W. , **In-situ grain structure and texture evolution during friction stir welding of austenite stainless steel**, Materials & Design, 115 (2017), 467-478, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.11.066>.

LUZ, Temístocles de Sousa. **INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS E DO PROCESSO DE SOLDAGEM NA SENSITIZAÇÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS**. 2002. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciências de Materiais, Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002

MACÉA CERÂMICA TÉCNICA AVANÇADA (Brasil). **Carbeto de Tungstênio- WC**. 2023. Disponível em: <https://www.macea.com.br/materiais/carbeto-de-tungstenio-wc>. Acesso em: 03 ago. 2023