



Friction Stir Welding European Qualifications

UC09 – Projeto de componentes

Engenheiro SFL

# 9. Definição de junta

9.1 Tipos de Soldadura de Fricção Linear

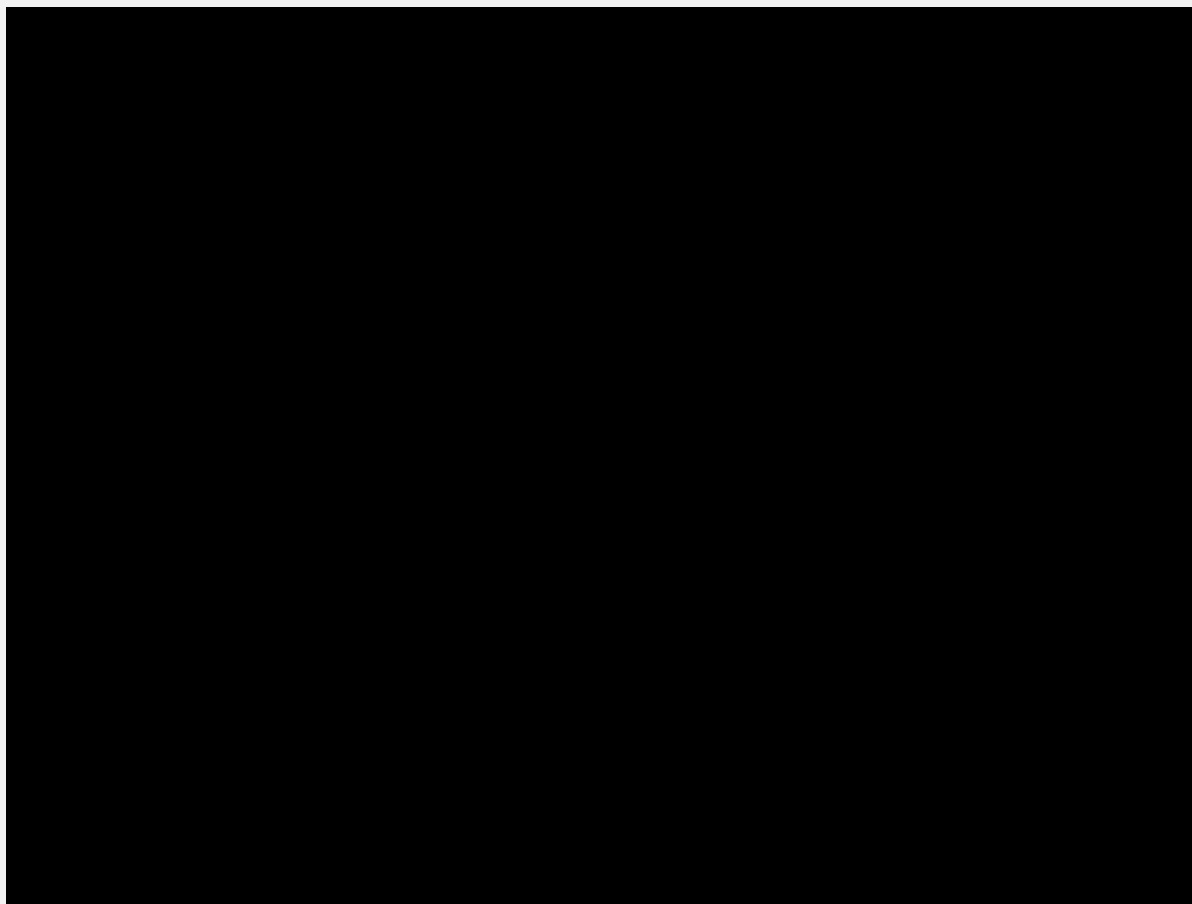
9.2 Especificações técnicas dos produtos finais

9.3 Linhas guia para o design em SFL

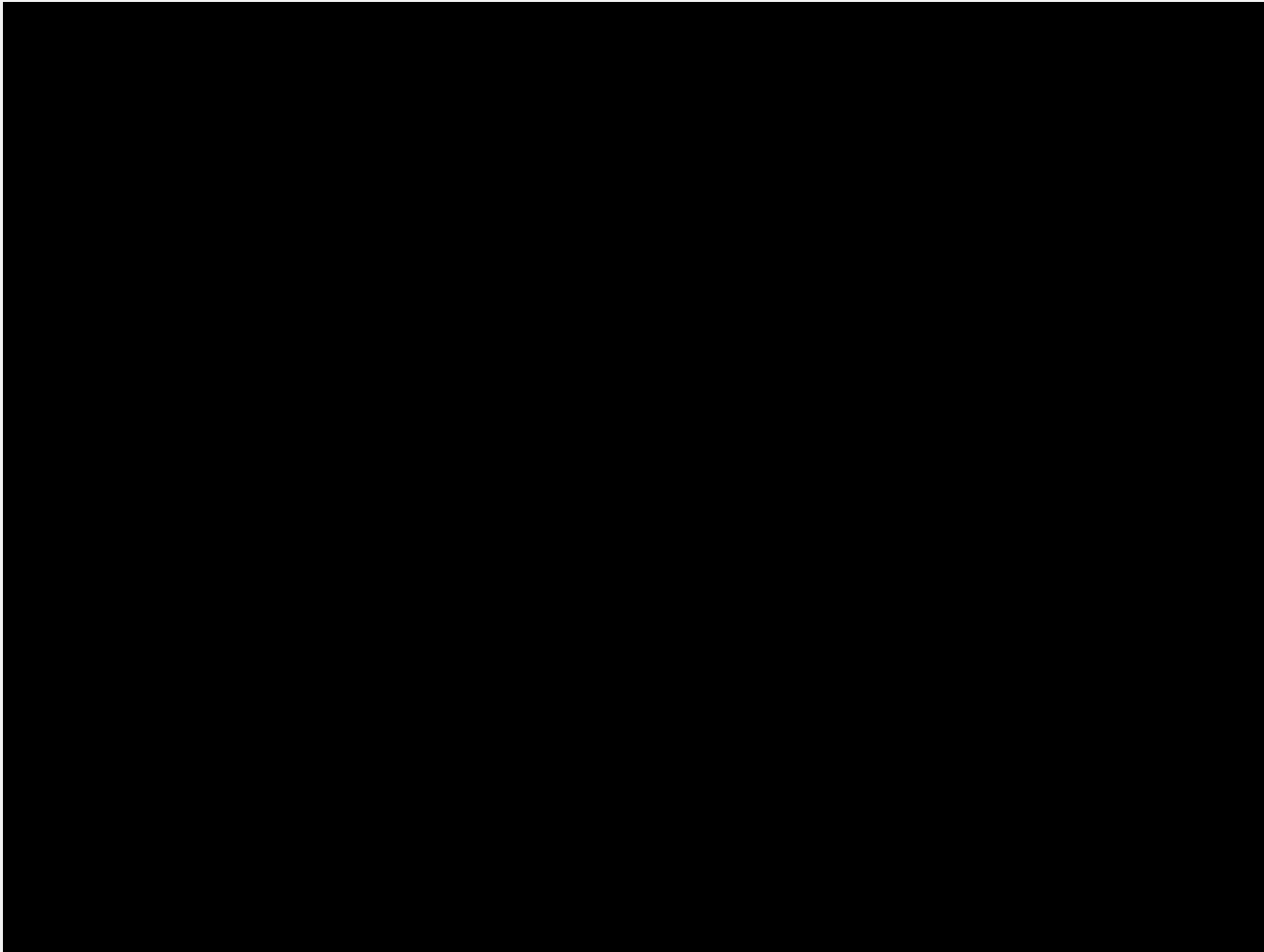
9.4 Referências

## 9.1 Tipos de Soldadura de Fricção Linear

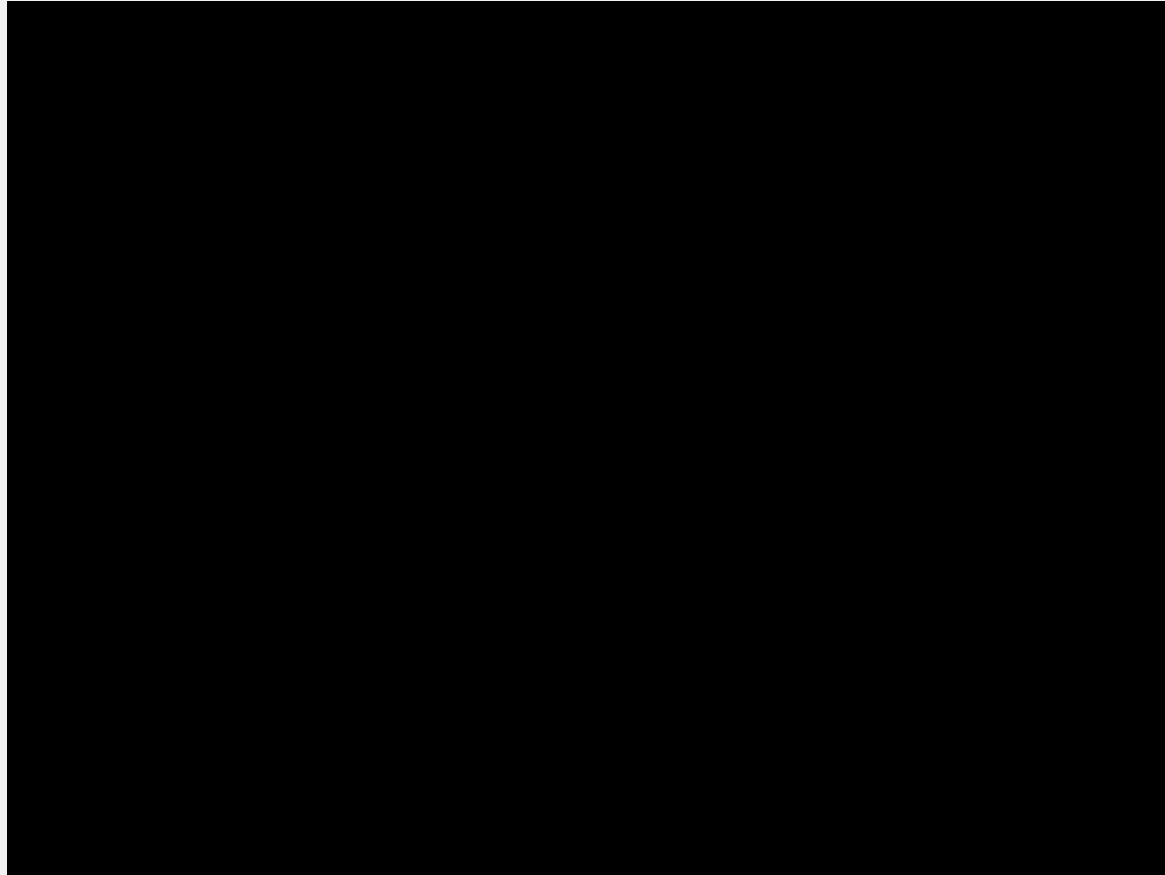
- Existe uma grande variedade de técnicas de soldadura por fricção:
- [Soldadura Rotativa por Fricção](#) — método mais popular de soldadura por fricção e é utilizado para peças em que pelo menos uma peça é rotacionalmente simétrica, como tubo ou barra.
- [Soldadura Linear por Fricção](#) — utilizado para componentes de motores a jato, formas próximas a rede e mais. Neste método a limitação das peças é baseada apenas na massa da parte móvel e não na geometria da interface.
- [Soldadura por Fricção Linear](#) — frequentemente utilizado para chapas de alumínio, extrusões e chapas onde são realizadas soldaduras de topo-a-topo entre componentes finos sem restrições no comprimento do componente.



## Soldadura Rotativa por Fricção



## Soldadura Linear por Fricção em movimento lento do titânio pelo TWI



## Soldadura por Fricção Linear

## 9.1 Tipos de Soldadura de Fricção Linear

### Vantagens

Soldadura Rotativa por Fricção	Soldadura Linear por Fricção	Soldadura por Fricção Linear
<p>100% de ligação na área de contato</p> <p>Capacidade de ligar materiais diferentes</p> <p>É só necessária uma preparação mínima de juntas</p> <p>Ciclos de soldadura rápidos, permitindo que mais peças sejam ligadas em tempos curtos</p> <p>Menos inventário necessário para criar famílias de peças</p> <p>Amigo do ambiente desde que nenhum consumível seja utilizado</p> <p>Escalável para qualquer dimensão de soldadura</p>	<p>Um processo rápido, repetível e flexível</p> <p>Capacidade de ligar quase qualquer número de formas com geometrias de peças complexas</p> <p>Capacidade de ligar metais diferentes</p> <p>É necessária uma preparação mínima da junta; resultando numa produção mais rápida</p> <p>Amigo do ambiente desde que nenhum consumível seja utilizado</p> <p>Escalável para qualquer dimensão de soldadura</p>	<p>Oferece novas aplicações de ligação para desafios difíceis de produção - desde extrusões a chapas e muito mais</p> <p>Ligação virtualmente livre de defeitos</p> <p>Acomoda peças com comprimento até 55 pés ≈ 16,7m</p> <p>Capacidade de juntar ligas dissimilares</p> <p>Capacidade de utilizar o recurso de cabeça dupla para soldadura rápida de painéis</p> <p>Distorção mínima das peças ligadas, para resistência extremamente alta</p> <p>Amigo do ambiente desde que nenhum consumível seja utilizado</p>

## 9.1 Tipos de Soldadura de Fricção Linear

Aplicações principais

Soldadura Rotativa por Fricção	Soldadura Linear por Fricção	Soldadura por Fricção Linear
Aeroespacial Agrícola Automóvel Construção Produtos de consumo Petróleo e gás Militar	Aeroespacial Automóvel Militar Petróleo e gás	Aeroespacial Eletrónica Naval Militar Transporte

## 9.1 Tipos de Soldadura de Fricção Linear

- Soldadura por Fricção Linear por Pontos
  - [https://www.youtube.com/watch?v=2fldX\\_Hcaeg](https://www.youtube.com/watch?v=2fldX_Hcaeg)
- Soldadura por Fricção Linear com Dupla Base
  - [https://www.youtube.com/watch?v=BVhLlv2\\_cnc](https://www.youtube.com/watch?v=BVhLlv2_cnc)
- SFL com Base Estacionária
  - [https://www.youtube.com/watch?v=e\\_6YS03yulY](https://www.youtube.com/watch?v=e_6YS03yulY)
  - <https://www.youtube.com/watch?v=q0oWjfeVXo8>

## *9.1.1 Soldadura por Fricção Linear por Pontos*

- A Soldadura por Fricção Linear por Pontos (SFLP) é um processo de soldadura no estado sólido para a soldadura de juntas sobrepostas de chapas semelhante à soldadura de resistência por pontos. São gerados pontos individuais em vez de soldaduras contínuas.
- O processo é utilizado principalmente na indústria automóvel, no fabrico de material ferroviário e na produção de aeronaves. Por exemplo, as portas traseiras do Mazda RX8 e a tampa do porta-malas do Toyota Prius são soldadas por este processo em produção de grande volume.



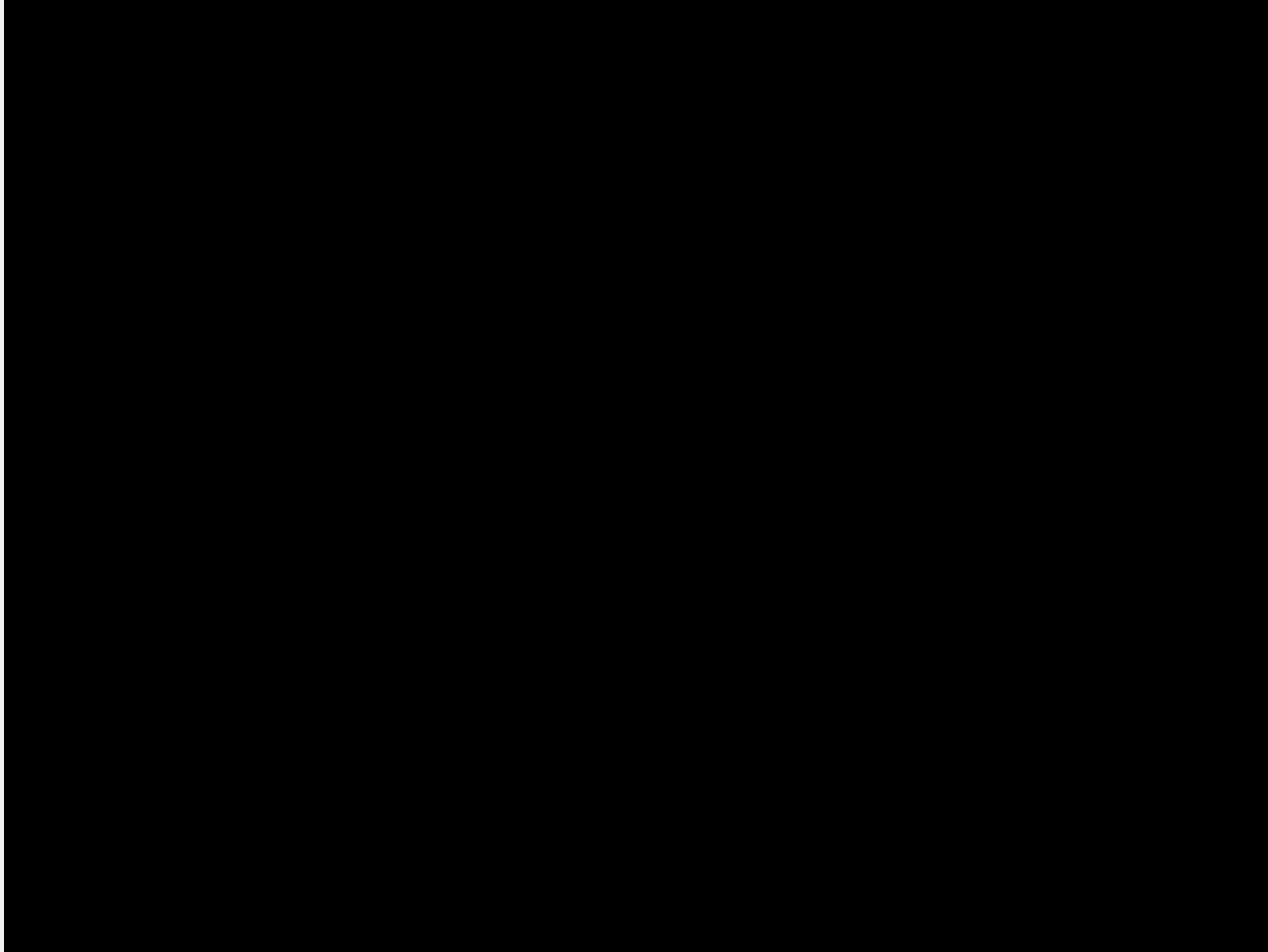
Máquina de Soldadura por Fricção Linear por Pontos

## 9.1.1 Soldadura por Fricção Linear por Pontos

Material	Espessura de soldadura	Estrutura	Campo de aplicação
Todas as séries das ligas de Al	0.5~1 mm	Separada	Aeroespacial Aeronáutica Automóvel
Ligas Mg, etc	0.5~4 mm	Separada	Circuito Eletrónico, etc.

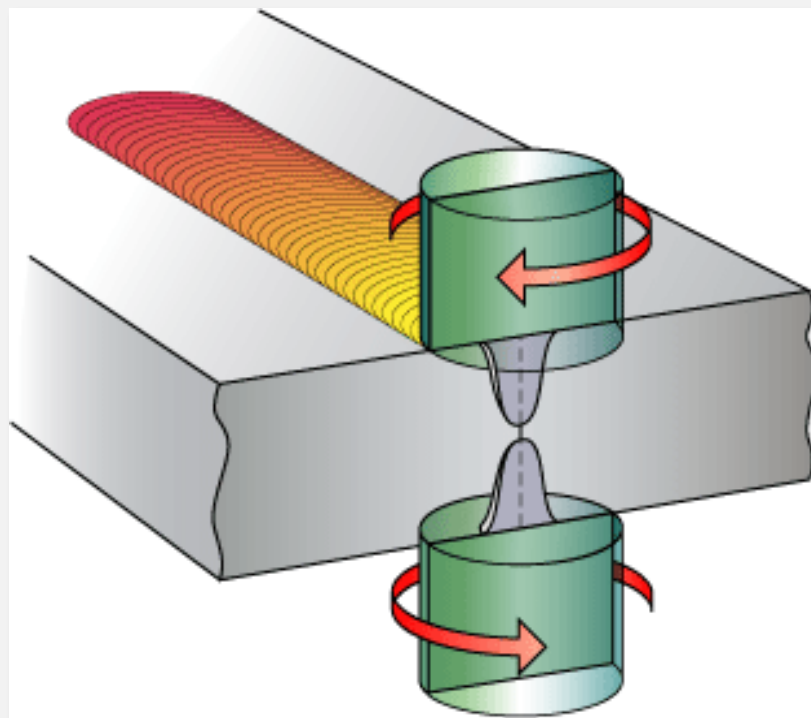


a) Ferramenta de SFL por pontos; (b) Aparência de uma junta SFL por Pontos; (c) Produto soldado por SFL por pontos para aeronáutica

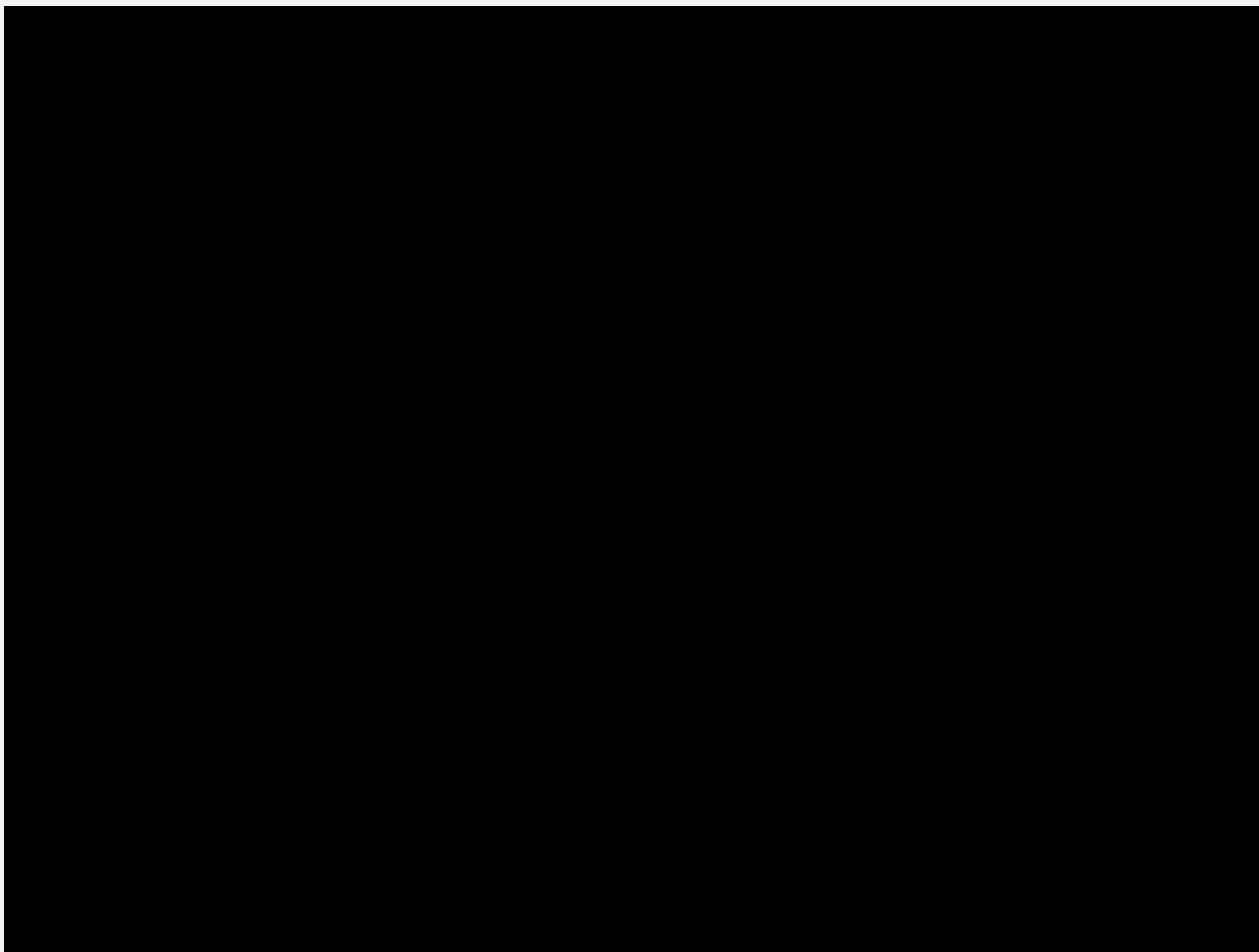


Soldadura por Fricção Linear por Pontos – por [TWI Ltd](#)

## *9.1.2 Soldadura por Fricção Linear com Dupla Base*



Soldadura por Fricção Linear com Dupla Base

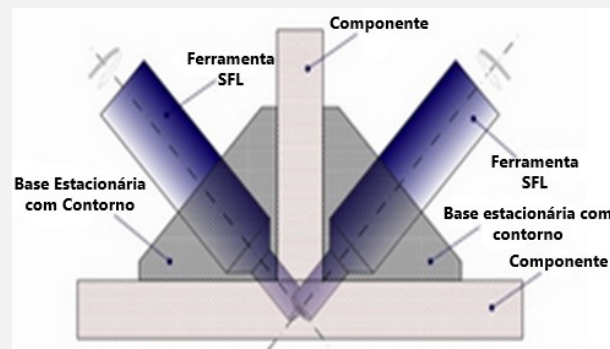


## Soldadura por Fricção Linear com Dupla Base

## 9.1.3 Soldadura por Fricção Linear com Base Estacionária

A base estacionária não adiciona calor à superfície, de modo que todo o calor é providenciado pelo pino e a soldadura é feita com um perfil de entrega térmica essencialmente linear. O mecanismo chave de soldadura consiste num pino rotativo que passa através de uma base não rotativa que desliza sobre a superfície do material durante a soldadura. A superfície da soldadura é muito lisa, quase polida, sem redução ou com redução mínima na seção transversal.

A utilização da técnica SFLBE num robô pode reduzir problemas associados ao controle da profundidade da ferramenta durante a soldadura. A estrutura do robô está propensa a deflexão, pois segura a ferramenta FSW na linha de soldadura do material, ou seja, alterações na dureza do material e a resistência subsequente podem alterar a profundidade na qual a ferramenta opera, produzindo imperfeições e defeitos.



Junta SFLBE de canto

## 9.1.3 Soldadura por Fricção Linear com Base Estacionária

Material	Espessura de soldadura	Estrutura	Campo de aplicação
Todas séries de ligas Al, ligas Mg, etc	8~15mm	Separada	Aeroespacial Automóvel
	15.1~30 mm	Separada	Ferroviária Aeronautica
	30.1~45 mm	Separada	Eletrónica, etc



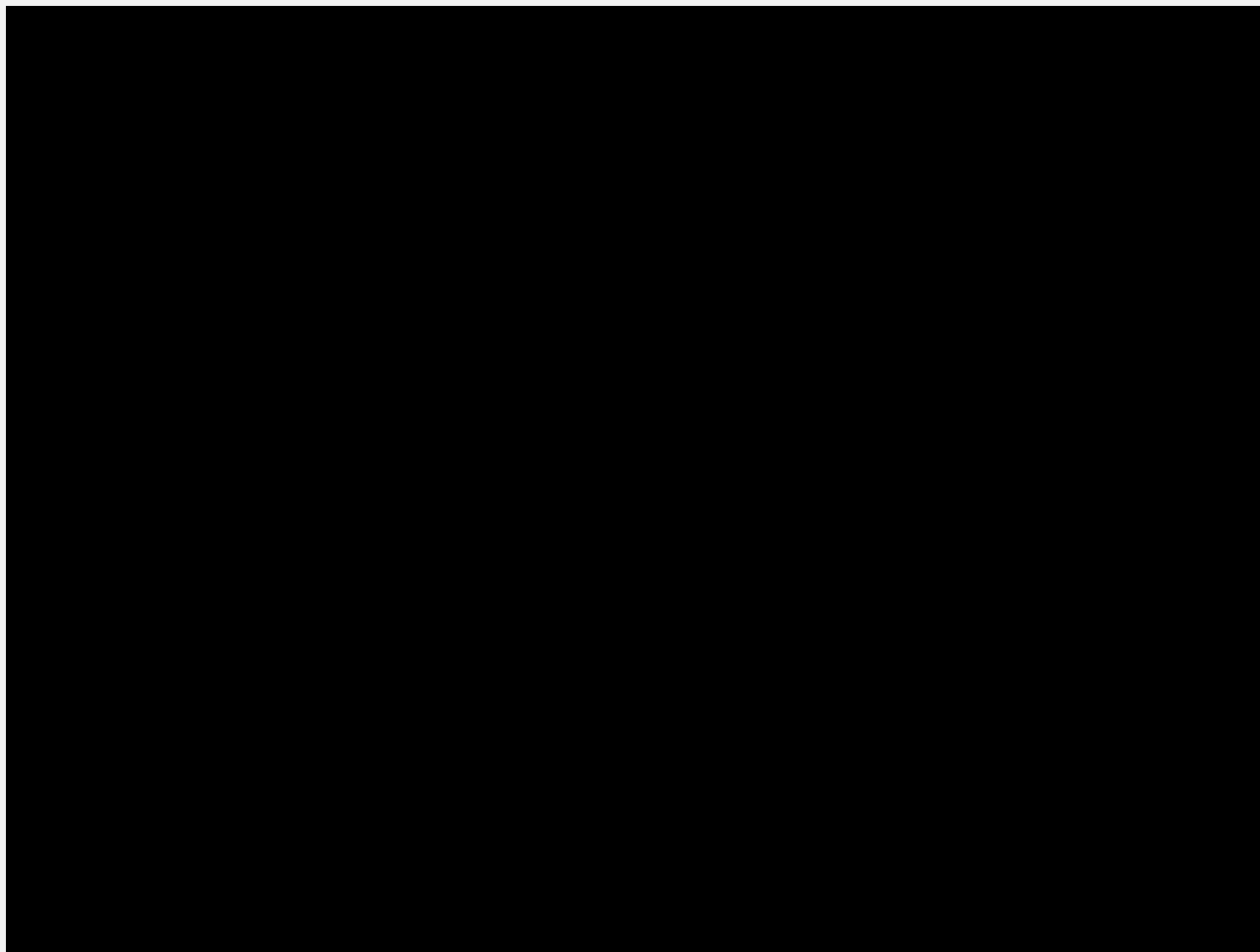
Tipo de ferramenta SFL com base estacionária de canto



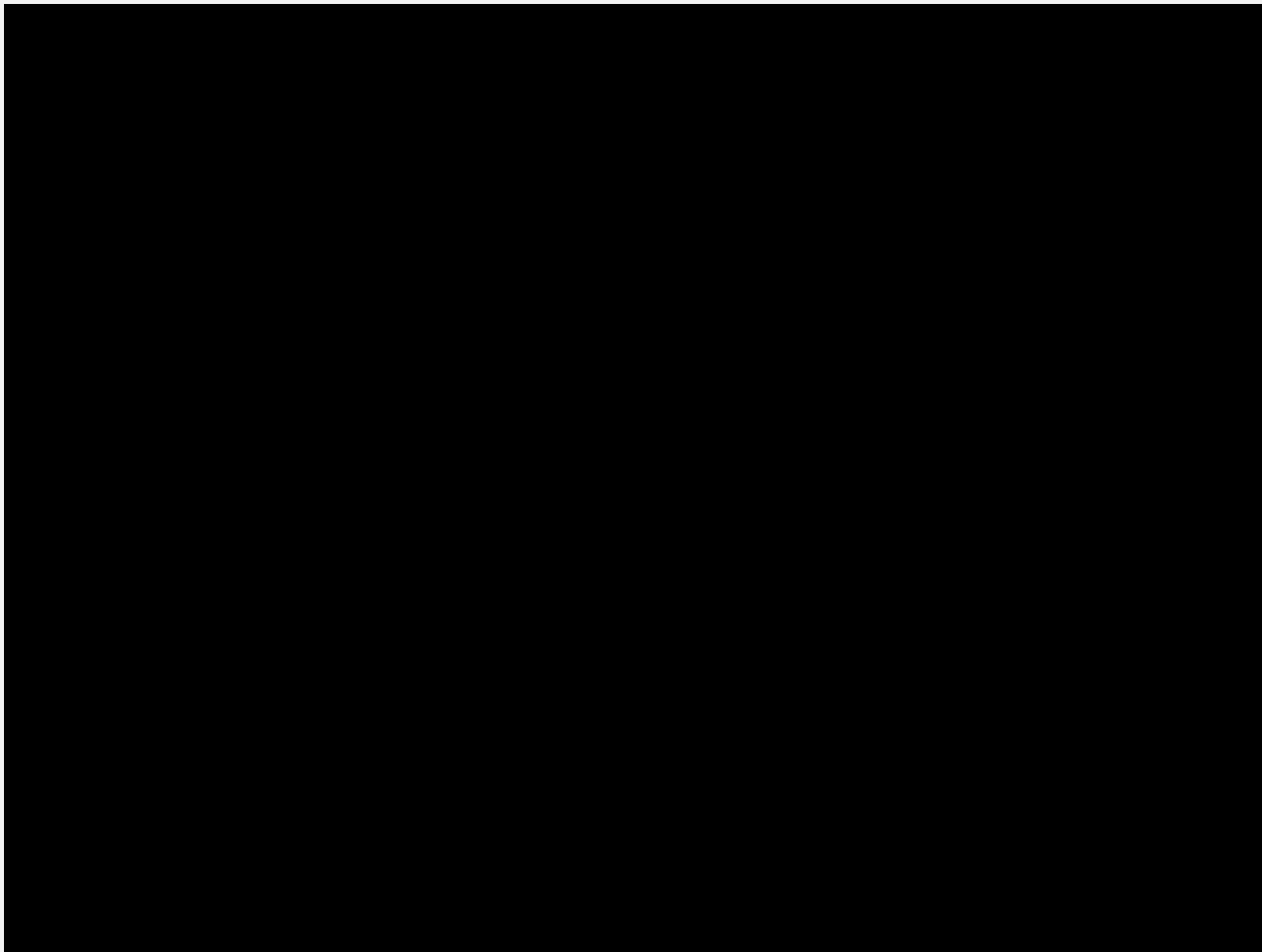
Liga de AL com 8mm de espessura Amostra com soldadura de canto ligada pelo processo SFL com base estacionária



Aplicação na indústria naval da ferramenta SFL com base estacionária de canto



## Soldadura por Fricção Linear com Base Estacionária



## Demonstração FlexiFab: SFL com base estacionária robotizada

## 9.2 Especificações técnicas dos produtos finais

- As especificações técnicas dos produtos finais são impostas pelo cliente, geralmente os componentes a soldar em laboratório ou indústria possuem algumas especificações que precisam ser aplicadas.
- As especificações são impostas pelo projetista em concordância com as normas aplicáveis (ISO, AWS, ABS, etc) porque o projetista conhece as cargas e a distribuição das cargas nos componentes. Cada componente deve ser examinado após a soldadura de acordo com a especificação recebida.

## 9.2 Especificações técnicas dos produtos finais

Componentes de aviões e comboios



Alguns exemplos ilustrativos da implementação da soldadura por fricção linear (fotos relacionadas com aeronáutica são cortesia do grupo Airbus, Ottobrunn, Alemanha e Shinkasen fotografias cortesia de Mr. Gilbert Sylva)

## 9.3 Linhas guia para o design em SFL

- A soldadura por fricção linear pode ser utilizada em ligas de alumínio, ligas de titânio, materiais dissimilares e este processo é utilizado predominantemente para o setor aeroespacial.
- Pesquisas recentes afirmam que atualmente ligas de titânio com espessuras de 3mm e 8mm podem ser soldadas com SFL (HZG-Hamburg). Foram também obtidos excelentes resultados com ligas de alumínio exóticas de 2 mm a 35 mm numa combinação de configurações desafiantes.

Mesa de  
Soldadura por  
Fricção linear



Mesa com  
movimento



Máquina SFL



## Formatos dos Pinos

O pino/ferramenta pode produzir aquecimento devido à deformação e fricção. Idealmente, o pino é projetado para ligar as duas superfícies das peças por fresagem, misturando o material na frente do pino/ferramenta e movendo o material para trás do pino/ferramenta.

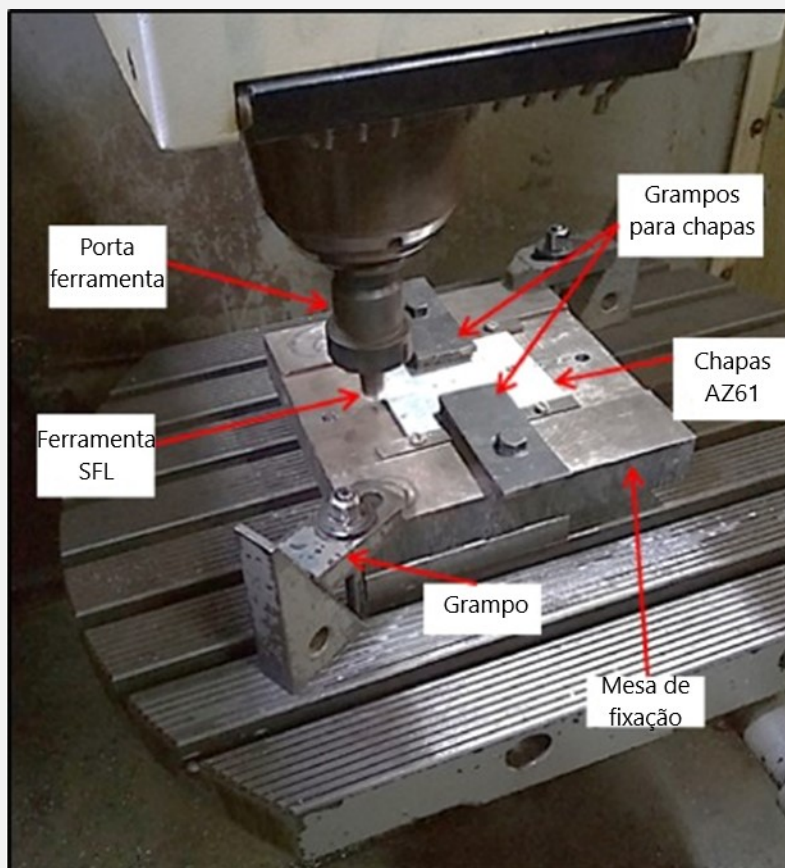
A profundidade de deformação e a velocidade de deslocamento da ferramenta são principalmente controladas pelo pino. A ponta final do pino é plana ou ligeiramente arredondada. O projeto do pino plano promove a facilidade de fabrico e é atualmente a forma mais utilizada.

A principal desvantagem do pino plano é a elevada força durante a penetração. Em contraste, uma extremidade redonda ou abobadada pode reduzir a força e o desgaste da ferramenta durante a fase de penetração, aumenta a vida útil da ferramenta eliminando a concentração de tensões locais e melhorando a qualidade da raiz da soldadura diretamente abaixo do pino.

## Projeto da Configuração da Junta

- Os corpos de prova que precisam ser soldados no estado sólido não precisam de preparação especial
- Geralmente são soldaduras topo-a-topo e a superfície dos corpos de prova é fixada somente no sistema de fixação
- É desejável realizar algumas preparações antes e depois da soldadura.

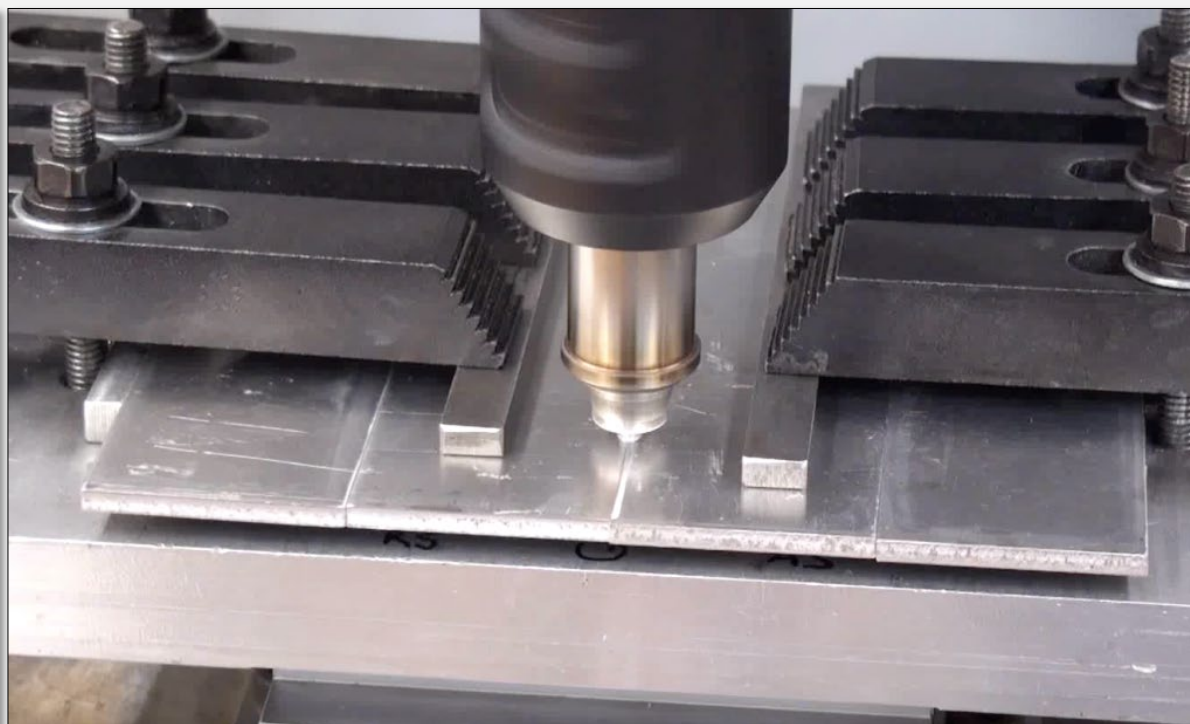




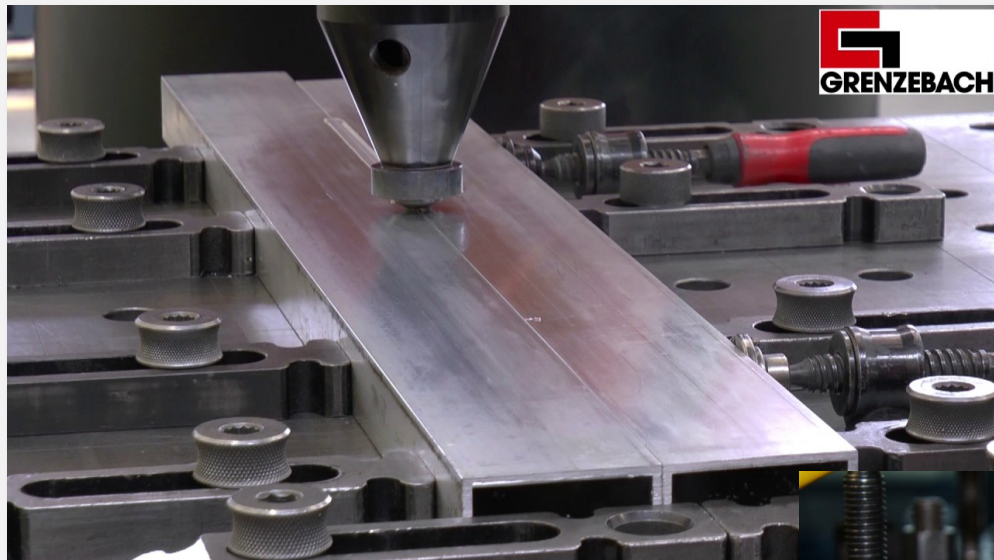
Máquina SF com sistema de fixação



Detalhes relacionados com a rotação da ferramenta e direção de soldadura



Soldadura SFL – sem preparação de aresta



Soldadura SFL – sem preparação de aresta



## Referências

- [1] L. Blaga, S.T. Amancio-Filho, J.F. dos Santos, R. Bancila: Friction Riveting (FricRiveting) as a new joining technique in GFRP lightweight bridge construction
- [2] L. Blaga, S.T. Amancio-Filho, Jorge F. dos Santos, R. Bancila: Fricriveting of civil engineering composite laminates for bridge construction
- [3] Goncalo Pina Cipriano, Lucian A. Blaga, Jorge F. dos Santos, Pedro Vilaca, Sergio T. Amancio-Filho: Fundamentals of Force-Controlled Friction Riveting: Part I – Joint Formation and Heat Development
- [4] Goncalo Pina Cipriano, Lucian A. Blaga, Jorge F. dos Santos, Pedro Vilaca, Sergio T. Amancio-Filho: Fundamentals of Force-Controlled Friction Riveting: Part II – Joint Global Mechanical Performance and Energy Efficiency
- [5] C. Atanasiu, TR. Canta, A. Caracostea, I. Crudu și alții: Încercarea Materialelor, Editura Tehnică, București 1982
- [6] Ș. Panaitescu, Editura Sudura "Sudare prin frecare cu element activ rotitor"
- [7] A. Feier, Timisoara 2018, Raport proiect Disapora - PN-III- P11.1-MCT-2018-0032
- [8] [https://www.grenzebach.com/products-markets/friction-stir-welding/?gclid=CjwKCAjwwZrmBRA7EiwA4iMzBKGG6YHJA46kOvr\\_SqUqvO-pr7gRLA6HMLD2NQkx\\_J\\_SkWTI94mtWBoCRmsQAvD\\_BwE](https://www.grenzebach.com/products-markets/friction-stir-welding/?gclid=CjwKCAjwwZrmBRA7EiwA4iMzBKGG6YHJA46kOvr_SqUqvO-pr7gRLA6HMLD2NQkx_J_SkWTI94mtWBoCRmsQAvD_BwE)
- [9] <https://www.ramtech.jp/en/equipment/>
- [10] <https://pdfs.semanticscholar.org/3b5d/ff7a85a28d27942956a04223c7f27fd8366d.pdf>



Cofinanciado pelo  
Programa Erasmus+  
da União Europeia



Friction Stir Welding European Qualifications

Obrigado!