



Friction Stir Welding European Qualifications

## CU3 – Operação do processo Operador SFL



Cofinanciado pelo  
Programa Erasmus+  
da União Europeia

# 3. Operação do processo

- 3.1. Equipamento auxiliar
- 3.2. Problemas inerentes ao SFL
- 3.3. Ações para resolver os problemas

### 3. Operação do processo de soldadura

- As ligações soldadas são juntas que são fabricadas livres de defeitos.
- Uma das possibilidades para evitar os defeitos consiste na aplicação de equipamentos auxiliares
- Os equipamentos auxiliares podem ser classificados em dois grupos básicos: **navegação e híbrido**

## 3.1 Equipamento auxiliar de navegação

- Utilizados em aplicações onde é necessário controlar:
- a posição correta da ferramenta de soldadura na direção de soldadura
- a profundidade de penetração da ferramenta de soldadura
- Temperatura

### 3.1.1 Controlo da profundidade (penetração da ferramenta de soldadura)

- O sensor de profundidade utiliza a força axial para manipulação com a profundidade de penetração da ferramenta de soldadura.
- Os sensores laser são utilizados como sinais de feedback para os controladores.
- Resultados experimentais provaram que na aplicação de dispositivos auxiliares (sensores, sondas) e uma configuração correta da profundidade de penetração da ferramenta de soldadura, a ocorrência de defeitos como falta de fusão na raiz e rebarba excessiva foi drasticamente reduzida.

### 3.1.1 Controlo da profundidade (penetração da ferramenta de soldadura)

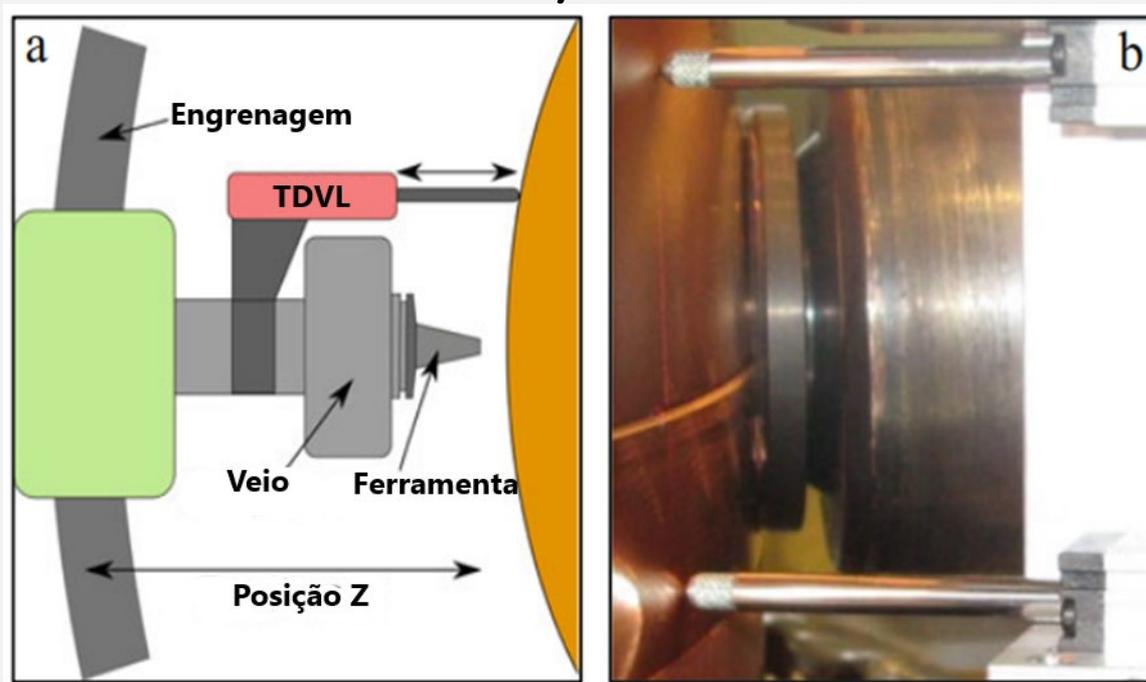
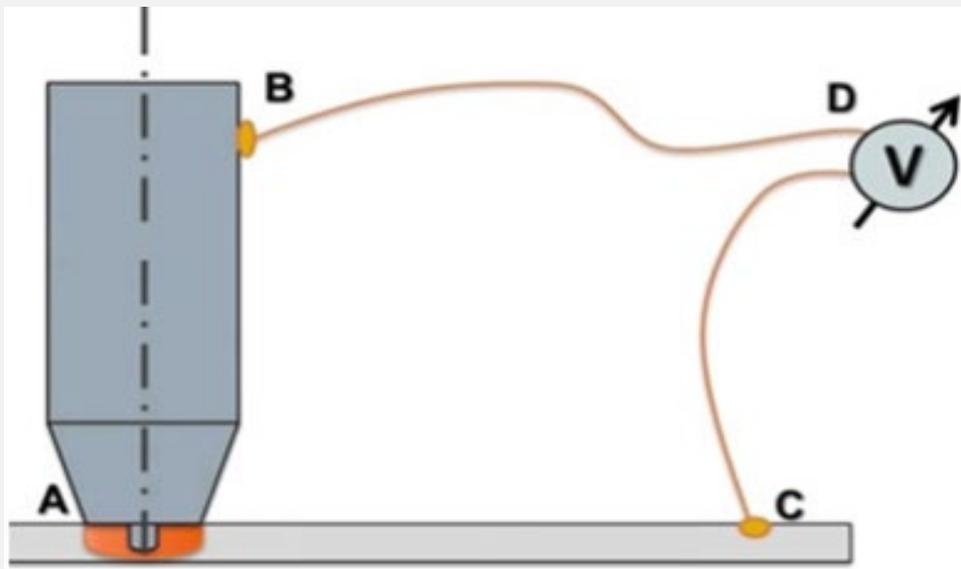


Figura 3-1 a) Configuração do sensor de profundidade; b) 2 Transformadores diferenciais lineares

## 3.1.2 Controlo da temperatura na soldadura do processo SFL

- A temperatura é medida através de um sinal termoelétrico entre a ferramenta e o material soldado.
- O método TWT oferece uma medição de temperatura precisa sob a base da ferramenta e nas proximidades do centro da ferramenta.

## 3.1.2 Controlo da temperatura na soldadura do processo SFL



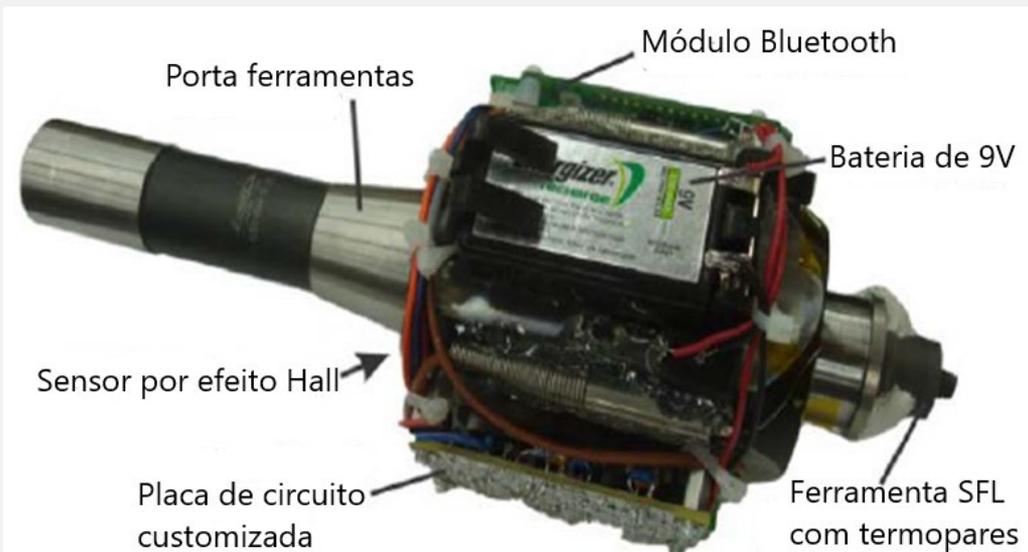
Configuração para calibração do método de medição de temperatura

O limite térmico entre a ferramenta de soldadura de aço e materiais soldados de liga de Al (A). Potenciais termoelétricos entre a ferramenta e o material soldado (B.C). A diferença na tensão é registrada (D)

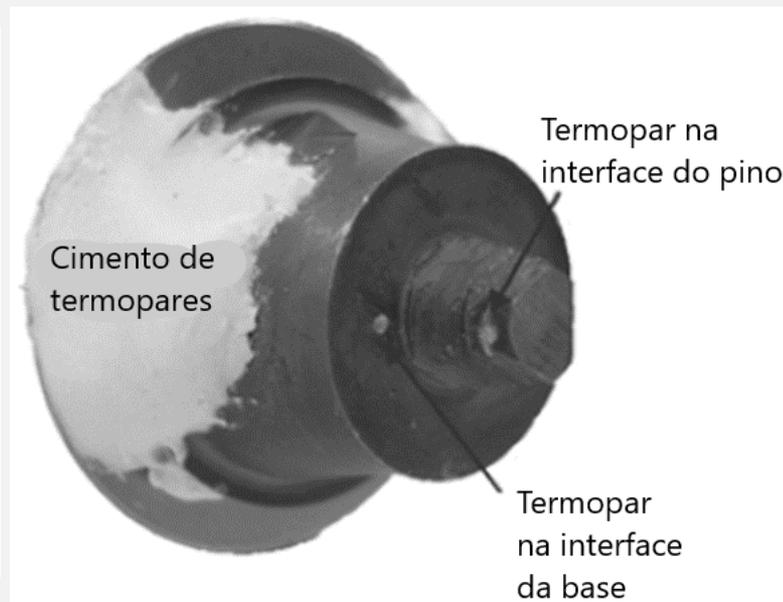
## 3.1.2 Controlo da temperatura na soldadura do processo SFL

- Outra forma de melhorar o fabrico de soldaduras de qualidade consiste na medição da temperatura com o auxílio da transferência de dados sem fio.
- Os termopares são inseridos na ferramenta de soldadura junto com o sistema sem fio para transferência de dados.
- Os termopares devem estar situados de maneira que fiquem o mais próximo possível do limite entre o material soldado e a ferramenta de soldadura.

## 3.1.2 Controlo da temperatura na soldadura do processo SFL



a)



b)

(a) Porta-ferramentas para distribuição de termopares no processo SFL; (b) Distribuição detalhada de termopares

### 3.1.3 Equipamento auxiliar híbrido

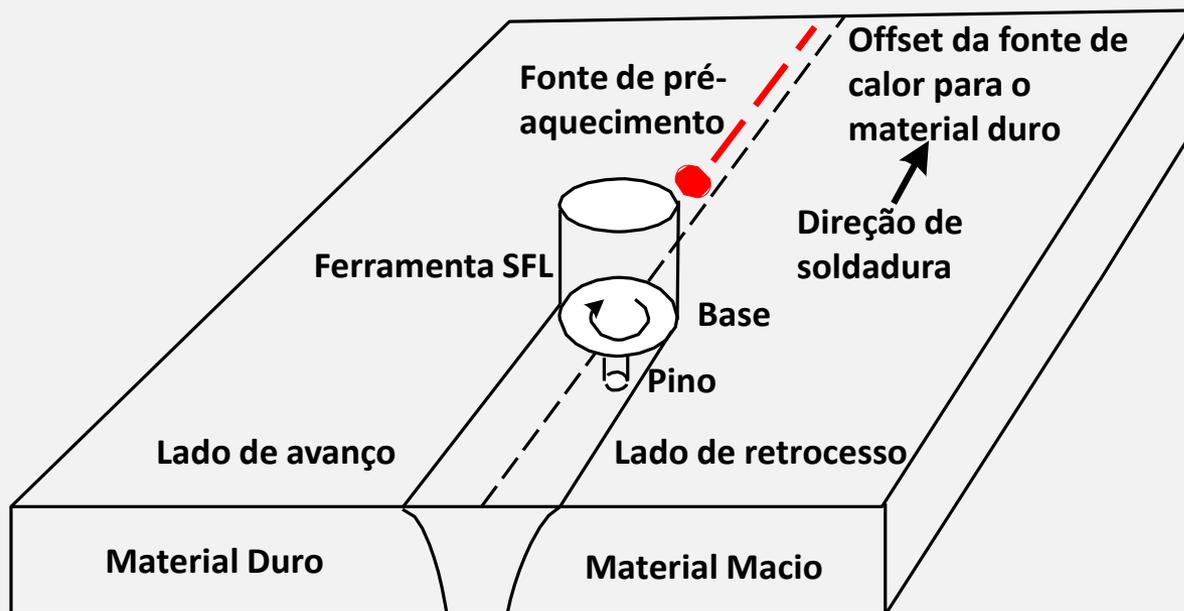
- A soldadura por fricção linear híbrida (SFLH) está se tornando popular nos dias de hoje. A soldadura por fricção linear tem muitas alterações.
- As fontes mais utilizadas são: TIG, feixe de laser, feixe de plasma, aquecimento de alta frequência, aquecimento por indução e ultrasons.
- Esses métodos prolongam a vida útil das ferramentas de soldadura e permitem uma melhor plastificação do material soldado.

## 3.1.3 Equipamento auxiliar híbrido



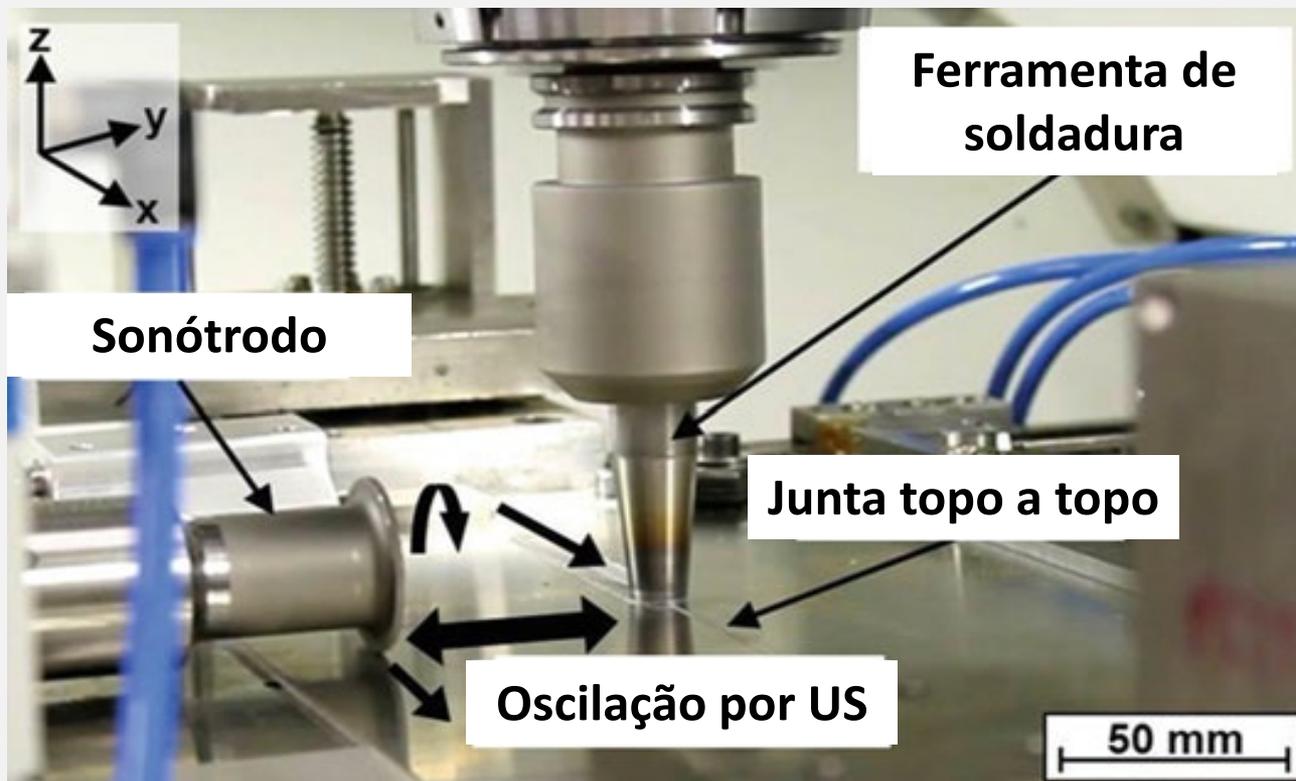
Equipamento SFLH com a utilização de uma fonte de calor TIG

### 3.1.3 Equipamento auxiliar híbrido



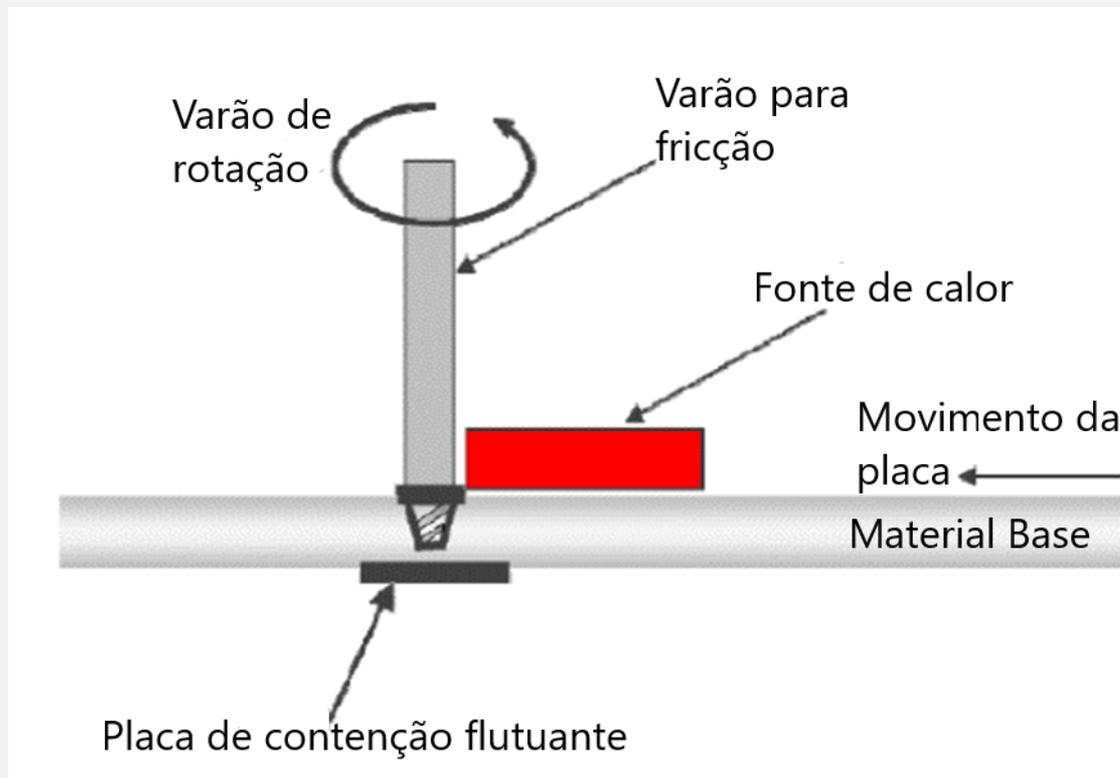
Princípios básicos da soldadura por fricção linear assistida por plasma de uma junta dissimilar

### 3.1.3 Equipamento auxiliar híbrido



Soldadura da tecnologia híbrida SFL-USE

### 3.1.3 Equipamento auxiliar híbrido



*Terminologia TSW e ilustração da ferramenta durante uma soldadura*

## 3.1.3 Equipamento auxiliar híbrido

- Pode-se afirmar com segurança que os processos híbridos (com equipamentos auxiliares) são meios adequados para obtermos juntas soldadas sãs e prolongar a vida útil das ferramentas de soldadura.

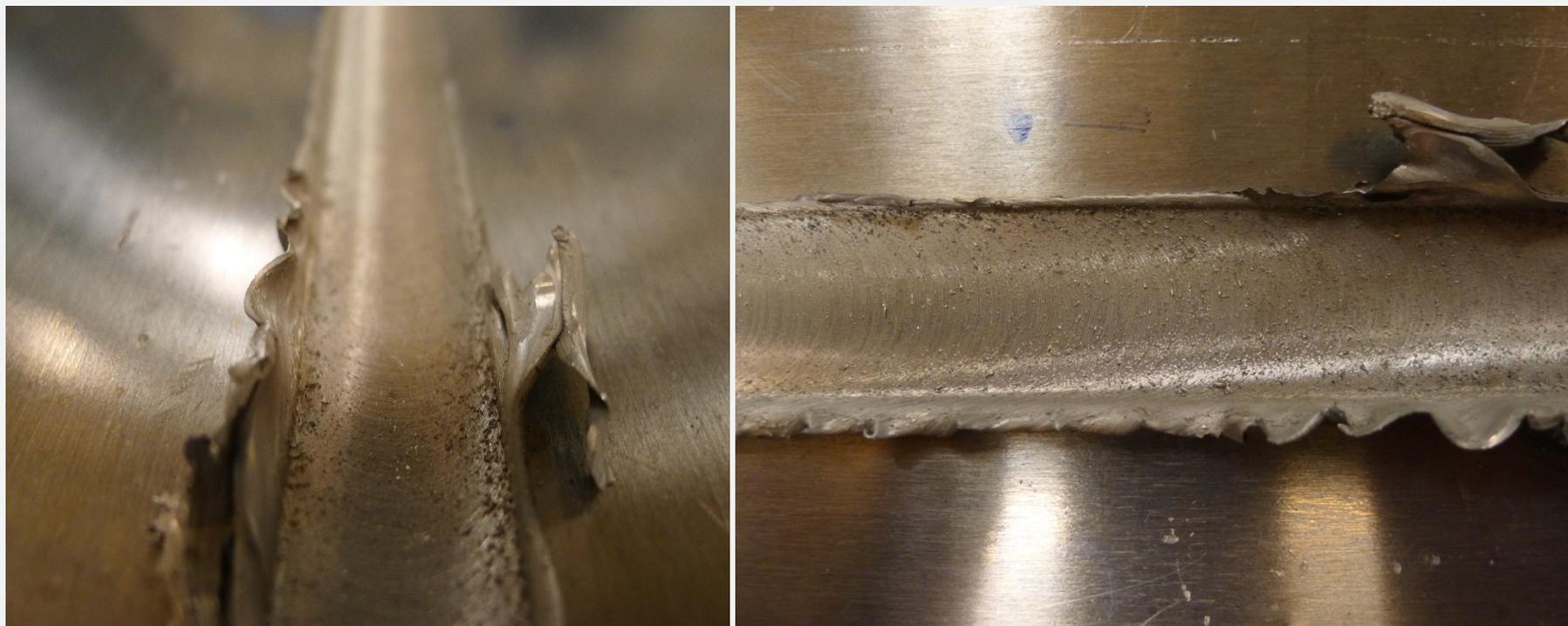
## 3.2 Problemas inerentes ao SFL

- O SFL é uma modificação de soldadura por fricção, onde todos os defeitos que ocorrem nos processos de fusão, incluindo o laser e outras fontes de energia concentradas, estão ausentes.
- Os defeitos mais frequentes, como a fissuração a quente e a porosidade, não ocorrem no processo FSW, porque este é um processo de ligação no estado sólido.

## 3.2.1 Problemas básicos mais comuns

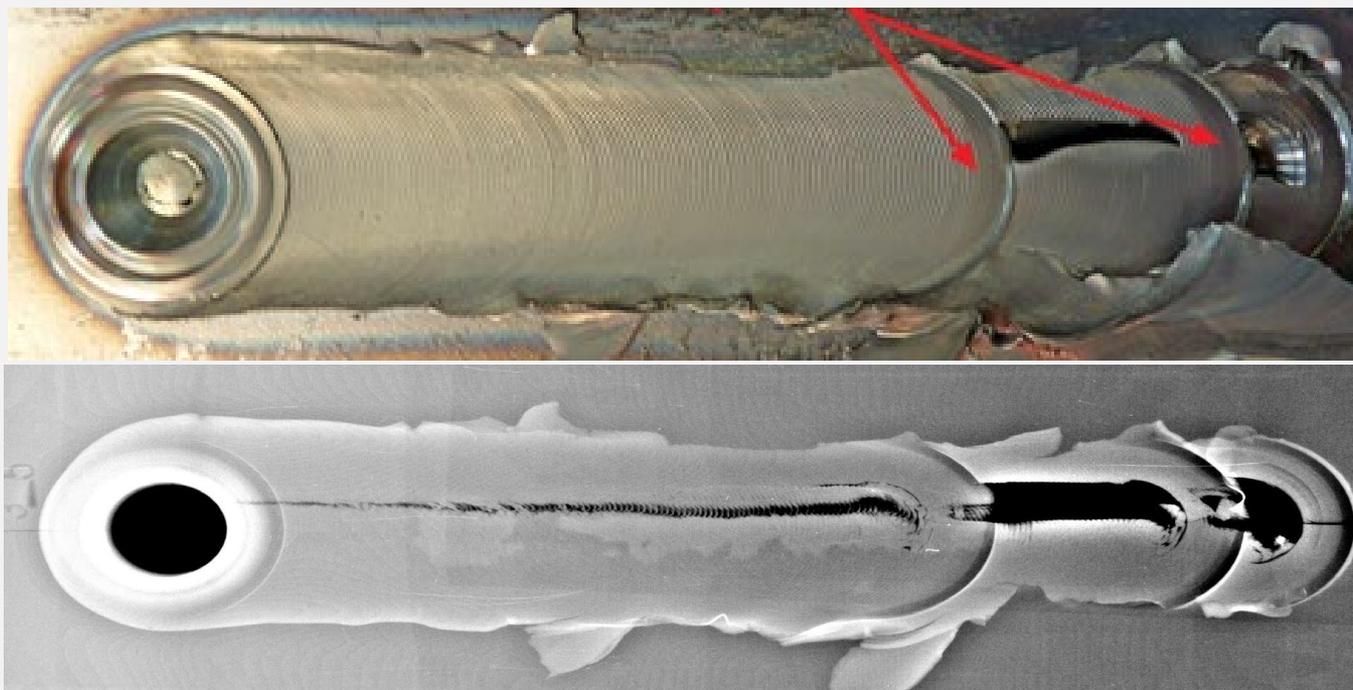
- A insuficiente mistura dos materiais soldados, cavidades ou vazios, rebarba excessiva e fissuras podem ser incluídas entre os problemas básicos mais comuns
- Os defeitos são classificados como defeitos internos e superficiais

## 3.2.1 Problemas básicos mais comuns



Junta de soldadura – rebarba

## 3.2.1 Problemas básicos mais comuns



Defeitos – Cavidades ou vazios

## 3.3 Ações para resolver os problemas

- O material excessivo - rebarba pode ser incluído entre os defeitos mais frequentes.
- A principal razão para a formação excessiva de rebarba consiste na penetração excessiva da ferramenta de soldadura nas direção da espessura do material.
- Esta desvantagem pode ser corrigida por um ajuste adequado do ângulo de ataque da ferramenta de soldadura.

### 3.3 Ações para resolver os problemas

- Se não for fornecido calor suficiente para a plasticização do material soldado na zona de soldadura, o defeito designado de cavidades ou vazios são formados nas juntas soldadas.
- Foi provado experimentalmente, que o aumento do diâmetro da base da ferramenta de soldadura, introduz um grande volume de calor no processo de soldadura, o que resulta numa melhor plasticização do material soldado e, portanto, a ocorrência destes defeitos na junta soldada é evitada.

## Conclusões

- Pode-se afirmar, portanto, que a seleção efetiva dos parâmetros de soldadura elimina a formação dos defeitos mencionados, o que contribui para a melhoria das propriedades mecânicas das juntas soldadas.