

# Soldagem por Fricção

*Paulo Eustáquio de Faria*  
*Prof. Alexandre Queiroz Bracarense*

## Soldagem por Atrito

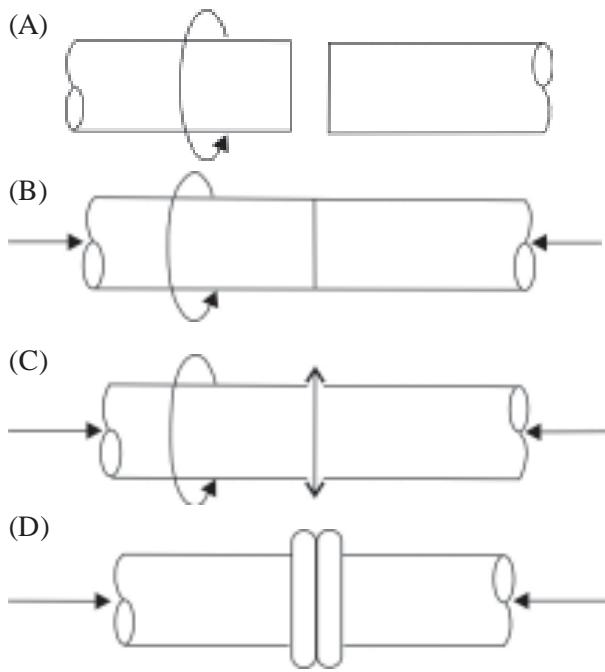
### 1. Introdução

A soldagem por atrito é um processo de união no estado sólido, no qual a coalescência entre as peças metálicas é obtida por aquecimento, através do atrito.

O processo é descrito abaixo e mostrado na figura 1.

(A) Disposição inicial das peças a serem soldadas, peça a direita com velocidade constante e à esquerda parada.

(B) Contato inicial entre as peças, através de forças aplicadas no sentido axial. Este contato gera calor aquecendo as superfícies devido ao atrito.



**Figura 1** Sequência Básica da Soldagem por Fricção.

(C) Deformação plástica devido ao aumento da força axial e do aquecimento.

(D) Caldeamento e forjamento da junta soldada.

Existem duas variações do processo: por arraste contínuo e por inércia.

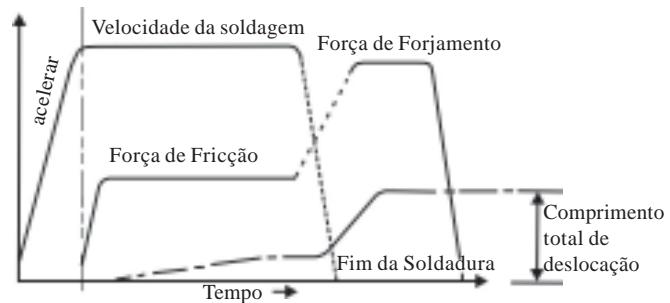
A solda é feita em poucos segundos, tem alta resistência e a zona termicamente afetada (ZTA) é estreita.

Este processo é aplicável a diversos materiais, similares ou não.

## 2. Processos

### 2.1. Soldagem por Arraste Contínuo

As peças a serem soldadas são fixadas nas garras da máquina de soldar. Uma das peças é acelerada até atingir a velocidade de soldagem pré determinada por intermédio de uma unidade motora. A outra peça que está parada é deslocada por uma força axial de atrito até tocar a peça que está girando. Este contato provoca o aquecimento das superfícies devido ao atrito. Quando as superfícies em contato atingem a temperatura de forjamento dos materiais, a unidade motora é desacoplada da peça que está em rotação e a força axial é aumentada, atingindo a força axial de forjamento. Esta é mantida até que as juntas estejam soldadas, figura 2.



**Figura 2** Soldagem de Fricção por Arraste Contínuo.

## 2.2. Soldagem por Inércia

As peças a serem soldadas são fixadas nas garras da máquina de solda, sendo que uma das garras está ligada a um volante acumulador de energia cinética rotacional. Este volante é acelerado por uma unidade motora até atingir a velocidade de soldagem, juntamente com uma das peças a ser soldada. Quando esta velocidade é atingida, a unidade motora é desacoplada e a peça que está parada é deslocada por intermédio de uma força axial de soldagem até entrar em contato com a peça que está girando. Este contato aquece as superfícies devido ao atrito até atingir a temperatura de forjamento. Esta força axial de soldagem é mantida até que as juntas estejam soldadas, figura 3.

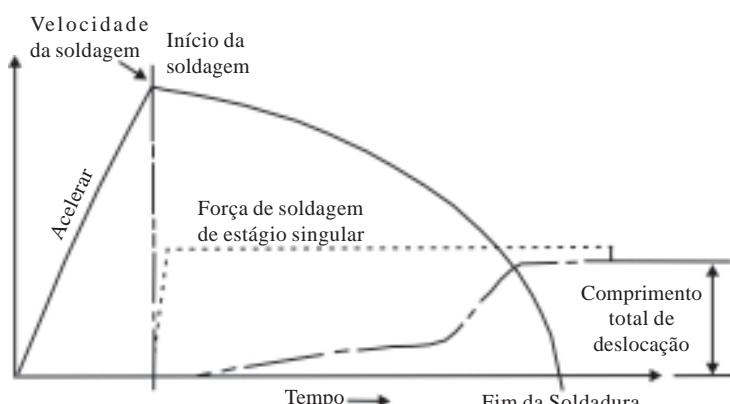
## 3. Parâmetros e Equações da Soldagem por Atrito

### 3.1. Soldagem por Arraste Contínuo

- Velocidade de rotação (rpm)
- Pressão de aquecimento (MPa)
- Pressão de soldagem (MPa)
- Tempo de aquecimento (s)
- Tempo de frenagem (s)
- Tempo de espera (s)
- Tempo de forjamento (s)

### 3.2. Soldagem por Inércia

- Momento de inércia (Nm)
- Velocidade de rotação (rpm)
- Pressão de contato (MPa)



## 3.3. Potência na Soldagem por Arraste Contínuo

$$W = 2,7 \pi w T \quad (1)$$

W = potência (w)

w = rotação (rpm)

T = torque (nm)

- Torque para barras

$$T = 2\pi\mu Pr^3 \quad (2)$$

$\mu$  = coeficiente de atrito

P = pressão aplicada (Mpa)

r = raio de superfície (mm)

- Torque para tubos

$$T = \frac{2}{3} \pi \mu (Ro^3 - Ri^3) \quad (3)$$

Ro = raio externo (mm)

Ri = raio interno (mm)

## 3.4. Energia da Soldagem por Inércia

$$E = \frac{WK^2 \text{ (rpm)}}{5873} \quad (4)$$

W = potência (W)

K = constante

## 3.5. Força de Soldagem por Atrito

$$F = (kfc) \frac{T_f}{10^4} \quad (5)$$

F = força de soldagem (N)

k = condutividade térmica do metal

f = densidade do material

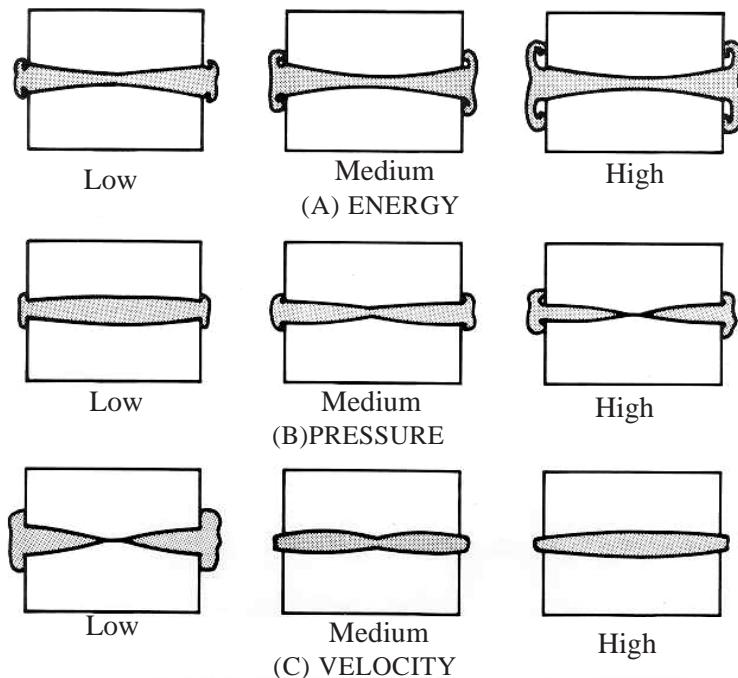
c = calor específico do material

T<sub>f</sub> = temperatura de fusão do material

**Figura 3** Soldagem de Fricção por Inércia.

### 3.6. Efeitos dos Parâmetros de Soldagem sobre a Junta Soldada.

A figura 4 apresenta o efeito da energia, de fusão e da velocidade sobre a morfologia do cordão de solda.



**Figura 4** Efeitos dos Parâmetros de Soldagem sobre a Junta.

### 4. Comparação entre a Soldagem por Inércia e a Soldagem por Arraste

**Tabela 1** Comparação entre as duas variantes do processo de soldagem por atrito.

Característica	Soldagem por Inércia	Soldagem por Arraste
Variáveis de processo	Velocidade relativa Pressão Inércia do volante	Velocidade relativa Pressão Duração do aquecimento
Tempo de soldagem	Menor	Maior
Energia de soldagem	Maior ( $23\text{-}174 \text{ W/mm}^2$ )	Menor ( $12\text{-}47 \text{ W/mm}^2$ )
Torque	Maior	Menor
ZTA	Menor	Maior
Resistência da solda	Maior	Menor
Fixação das peças	Garras do mandril com eficiência elevada para resistir a torques elevados e evitar a rotação da peça	Garras do mandril normais
Equipamentos	Deve ser robusto para resistir às elevadas cargas axiais e de torção	Pode ser projetado para operações portáteis

## 5. Equipamentos

O equipamento básico para soldagem por atrito consiste de cabeçote de fixação das peças (garras), sistemas para movimento de rotação e sistema para aplicação de forças axiais (pressão).

### 5.1. Equipamento Básico para Soldagem por Arraste

A tabela 2 mostra a faixa operacional do processo e a figura 5 mostra o equipamento básico para soldagem por arraste.

**Tabela 2** Variação dos parâmetros do equipamento de soldagem por arraste.

Rotação (rpm)	Força de Forjamento (kN)	Diâmetro Sólido (mm)	Área Tubular (mm <sup>2</sup> )
1.000-3.000	60-1.350	25-120	6690-12.900

### 5.2. Equipamento Básico para Soldagem por Atrito.

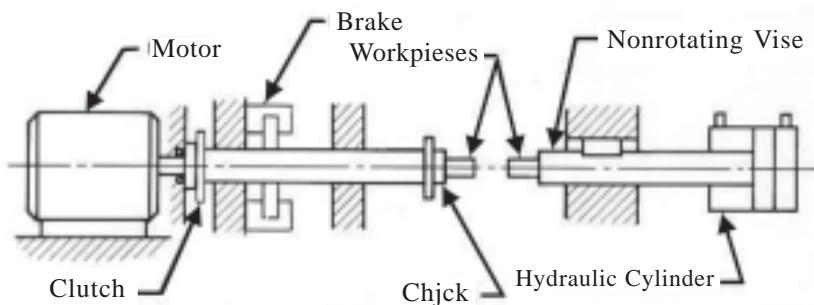
A tabela 3 mostra a faixa operacional do processo e a figura 6 mostra o equipamento básico para soldagem por inércia.

## 6. Materiais

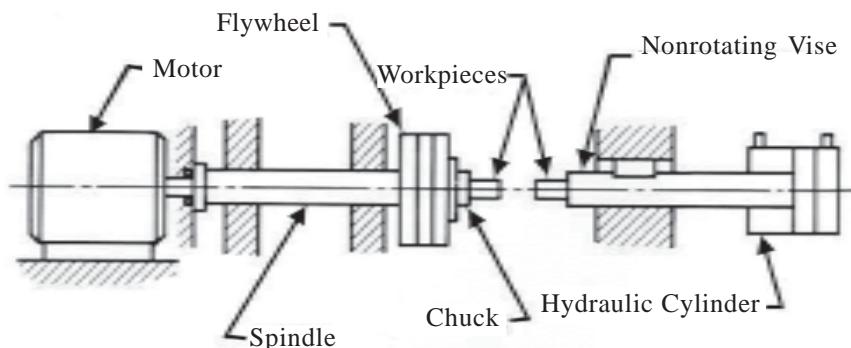
A maioria dos metais pode ser soldado por atrito, com exceção para o ferro fundido, porque o grafite age como lubrificante. Certas ligas que possuem baixo coeficiente de atrito, como bronze e latão com mais 0,3 Pb. Certos aços com inclusão de sulfetos de manganês também não podem ser soldados devido à formação das fases frágeis na solda. A tabela 4 apresenta as principais possibilidades dos materiais soldáveis por fricção.

**Tabela 3** Variação dos parâmetros do equipamento de soldagem por inércia

Rotação (rpm)	Força de Soldagem (kN)	Área Tubular (mm <sup>2</sup> )
500 - 60.000	2 - 20.000	45 - 145.000



**Figura 5** Equipamento Básico para Soldagem por Arraste.



**Figura 6** Equipamento Básico para Soldagem por Inércia.

**Tabela 4** Possibilidade da aplicação da soldagem por atrito para alguns materiais

	Ligas de zircônio	Materiais de válvula (automóveis)	Vanádio	Urânio	Carbonetos de tungstênio cementado	Tungstênio	Ligas de titânio	Titânio	Torínia	Tântalo	Aço de ferramenta	Aço inoxidável	Aço sintetizado	Aço - Maraging	Aço de fácil usinagem	Aço de carbono	Ligas de aço	Ligas de prata	Prata	Ligas de nióbio	Niôbio	Nimônico	Ligas de níquel	Níquel	Metais Monel	Malibêndio	Ligas de magnésio	Magnésio	Chumbo	Ferro sintetizado	Niquelina	Cobre	Cobalto	Cerâmica	Ferro fundido	Carbonetos cementados	Bronze	Latão	Ligas de alumínio	Alumínio
Alumínio	■																																							
Ligas de alumínio		■																																						
Latão			■																																					
Bronze				■																																				
Carbonetos cementados					■																																			
Ferro fundido						■																																		
Cerâmica							■																																	
Cobalto								■																																
Cobre	■								■																															
Niquelina									■																															
Ferro sinterizado										■																														
Chumbo											■																													
Magnésio												■																												
Ligas de magnésio													■																											
Malidênio														■																										
Metais Monel															■																									
Ligas de alumínio																■																								
Níquel		■															■																							
Ligas de níquel																		■																						
Niôbio																			■																					
Ligas de nióbio																				■																				
Prata																				■																				
Ligas de prata																					■																			
Ligas de aço			■																			■																		
Aço de carbono																						■																		
Aço de fácil usinagem																							■																	
Aço-Marsging																								■																
Aço sintetizado																									■															
Aço inoxidável																										■														
Aços de ferramenta					■																																			
Tântalo																																								
Torínia																																								
Titânio																																								
Ligas de titânio																																								
Tungstênio																																								
Carbonetos de tungstênio cementados																																								
Urânio																																								
Vanádio																																								
Materiais de válvula (automóvel)																																								
Ligas de zircônio																																								

■ Ligação metalúrgica da mesma resistência, (em alguns casos, seria necessário um tratamento térmico após a soldadura a fim de proceder à soldagem da mesma resistência).

□ Pode soldar-se à fiação, mas podendo não produzir uma ligação da mesma resistência.

□ É provavelmente soldável - não há no momento estudos sobre a soldabilidade.

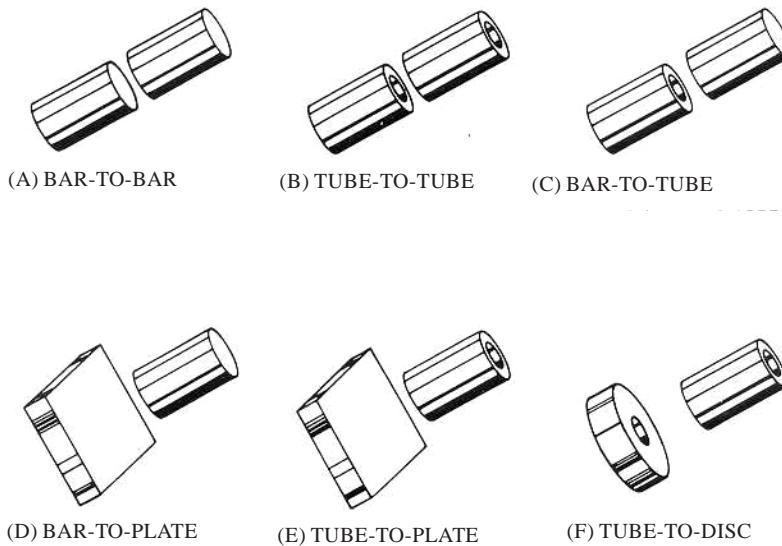
## 7. Propriedades Mecânicas

Como não há fusão do metal a ser soldado, nem material de adição, gás de proteção e escória, as propriedades mecânicas da solda são próximas à do metal de base. A variação de dureza ao longo da zona termicamente afetada (ZTA) é muito pequena. A resistência à fadiga também não é muito afetada, principalmente quando o material for temperado e revenido após a soldagem.

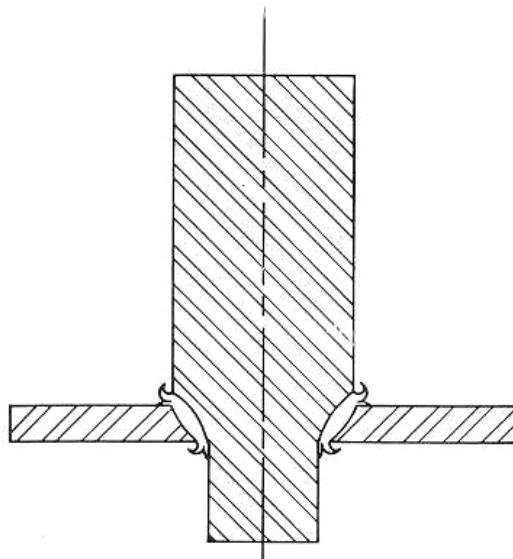
## 8. Tipos de Juntas e Superfícies

O processo de soldagem por atrito está limitado aos tipos de juntas de topo, planas e angulares, que devem ser perpendiculares e concêntricas com eixo de rotação.

A superfície a ser soldada não precisa ter bom acabamento. Portanto, superfícies forjadas, cortadas com tesoura, com gás ou disco abrasivo são aceitáveis. Porém deve ser removida as irregularidades, figuras 7 e 8.



**Figura 7** Tipos e Juntas de Topo Planas.



**Figura 8** Tipo Junta Angular

## 9. Qualidade da Solda

A qualidade da solda depende da escolha correta das variáveis de processo. Por ser um tipo de soldagem no estado sólido e por não necessitar de metal de adição ou mesmo fluxos, praticamente não ocorrem defeitos como: poros devido a gases, inclusões de escória e fase frágeis. Os defeitos mais comuns são: cisalhamento na zona afetada pelo calor (baixa velocidade inicial ou volante superdimensionado) e defeitos centrais causados por pequenos orifícios no centro de uma das peças.

Os tipos de exame mais utilizados são: a inspeção visual e a medida do comprimento da peça. Os ensaios de tração, flexão, impacto e fadiga podem ser utilizados para o controle de qualidade.

Geralmente faz-se também uma metalografia da junta soldada, bem como medidas de dureza ao longo da zona afetada pelo calor.

## 10. Aplicação

A soldagem por atrito é aplicada em diversas indústrias:

- Aviação
- Metal mecânica
- Petrolífera
- Militar
- Agrícola
- Automobilística

## 11. Referências Bibliográficas

1. MARQUES, Paulo V. Tecnologia da Soldagem. 1<sup>a</sup> Ed. Belo Horizonte, ESAB, 1991. 352p.
2. BRANDI, Sérgio D., WAINER, Emílio, Mello, Fábio D. Homem. Soldagem; Processos e Metalurgia. 1<sup>a</sup> Ed. São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda, 1992. 494p.
3. ASM International Handbook Committee. Welding Handbook, Welding Processes. 8<sup>a</sup> Ed. American Society For Metais, 1991, vol. 2., p. 739-762
4. CATÁLAGO. Manufacturing Technology, Inc. 44p.

