

## Soldagem por Fricção

Fernanda Laureti Thomaz da Silva  
Luiz Gimenes Júnior

### ***HISTÓRICO***

A soldagem por fricção, também conhecida como soldagem por atrito, utiliza algo muito comum para todos nós, o atrito, presente em todas as situações.

Há muito tempo sabe-se que o atrito gera calor, mas o registro sobre sua utilização para unir metais é conhecido a partir de 1891, quando a primeira patente deste método de união foi autorizada nos Estados Unidos da América.

Em 1929 foi registrada a primeira patente alemã; de 1941 a 1944 a Inglaterra desenvolveu e registrou uma série de patentes sobre este processo e em 1956 a outrora União Soviética também registrou seu desenvolvimento.

A partir disto, outros países desenvolvidos industrialmente estiveram estudando e aprimorando o processo de soldagem por fricção a fim de ampliar e melhorar sua aplicação.

### ***DESCRIÇÃO***

A soldagem por fricção é um processo de soldagem no estado sólido, que visa unir partes metálicas através de caldeamento, obtido pelo calor gerado, através do atrito provocado por movimento das superfícies em contato, e aplicação de pressão.

Devido ao atrito entre as partes, a energia cinética é convertida em calor, sendo absorvido pela região imediatamente próxima às superfícies em contato, coalescendo as superfícies, uma pressão é aplicada e a ação da força centrífuga faz fluir o metal para fora dos limites da peça na forma de rebarba, arrastando os óxidos superficiais existentes.

Toda a energia gasta para fluir o metal coalescido, impede que fases líquidas sejam formadas.

Normalmente as juntas soldadas por este processo tem características mecânicas e metalúrgicas superiores a no mínimo um dos metais envolvidos na junta.

A forma mais comum de soldagem por fricção é pelo o seguinte arranjo:  
Uma das peças é fixada (estacionária) enquanto a outra sofre giro e é pressionada contra a superfície da peça fixada, conforme mostra a figura abaixo.

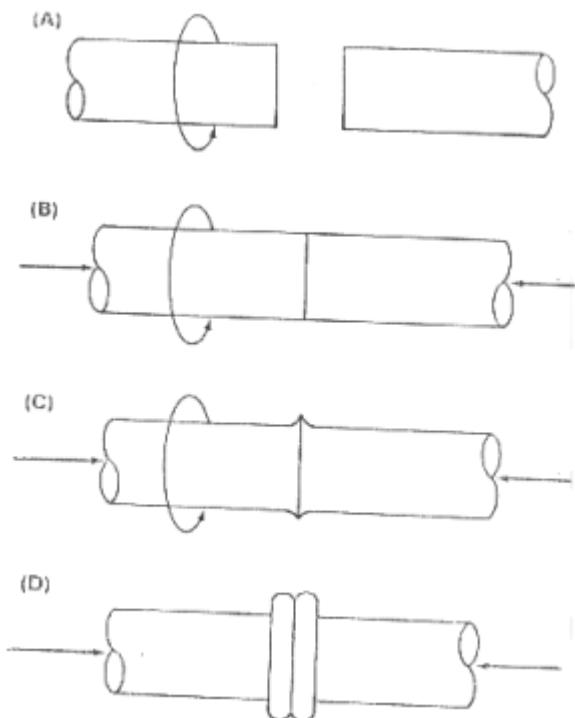


Figura 01 - Seqüência de Soldagem por Fricção

- A - Rotação
- B - Atrito
- C - Material Coalescido
- D - Forjamento

Com esta aproximação das superfícies há um aquecimento localizado que a princípio ocorre somente nas partes salientes destas superfícies, onde há atrito e consequentemente nestes pontos que estão a uma temperatura elevada há fusão e no instante seguinte são cisalhados devido ao movimento da peça, ver a figura abaixo:

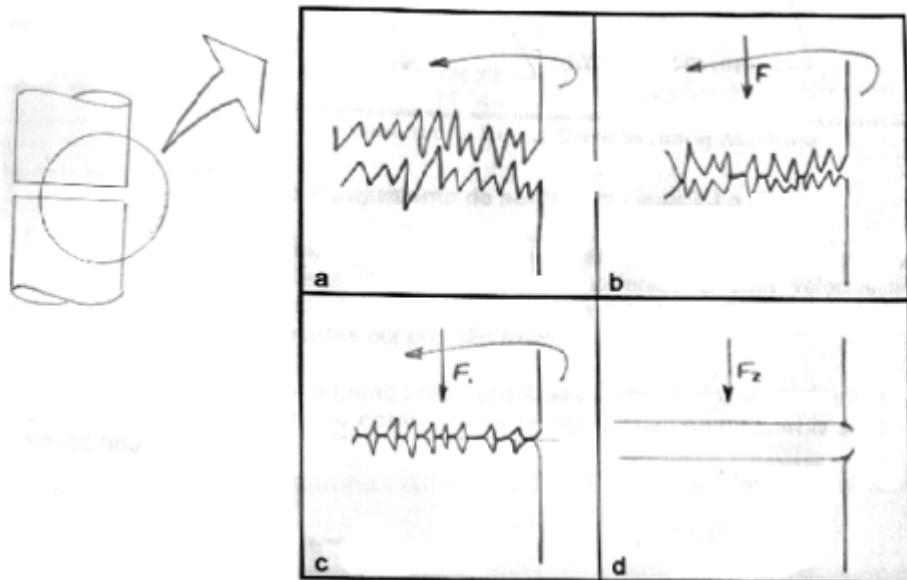


Figura 02 - Esquema microscópico das superfícies em atrito

### EQUIPAMENTOS

Basicamente há duas variações de equipamentos por soldagem por fricção, onde a diferença principal entre elas está na característica de rotação, de uma das peças envolvidas.

Na figura 03, também chamada de processo russo, uma das peças é estacionária e a outra recebe um movimento giratório de um motor elétrico, esta gira a uma velocidade pré-determinada e constante durante todo o processo.

Assim, as peças são aproximadas e quando as superfícies chegam a uma temperatura esperada o movimento de rotação é interrompido através de um freio e uma determinada pressão é aplicada.

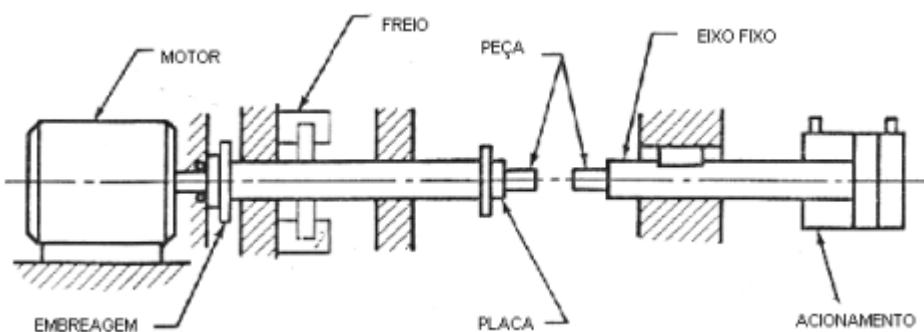
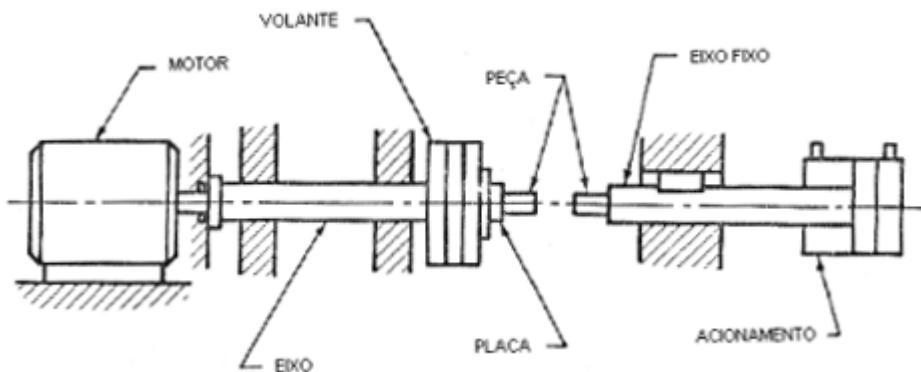


Figura 03 - Equipamento de soldagem - impulsão direta

Na figura 04, também conhecida como processo americano, uma das peças é estacionária e a outra conectada a um volante que é acelerado a uma velocidade angular pré-determinada, com isto ele armazena a energia adquirida.

Então o motor é desligado e as peças são aproximadas por pressão axial.

As peças são friccionadas e o calor é gerado nas superfícies a serem soldadas, a velocidade do volante decresce, até cessar o movimento, quando normalmente aplica-se uma pressão final.



*Figura 04 Equipamento de soldagem - impulsão inercial*

Faz-se uma comparação, através da abaixo, entre os dois principais equipamentos por soldagem por fricção.

**Tabela FW 01 - Comparações entre Equipamentos**

Parâmetro do processo	Convencional	Inercial
<b>Parâmetros de soldagem</b>	Velocidade de rotação Força axial Energia constante	Momento de inércia Velocidade de rotação Força axial
<b>Conversão de energia em calor friccional</b>	Energia constante durante a rotação	Energia fixada no Volante durante a rotação, sendo determinada pelos parâmetros de soldagem
<b>Quantidade de energia</b>	Baixo	Alto
<b>Taxa de velocidade gerada</b>	Baixo	Alto
<b>Ciclo de tempo</b>	Similar	Similar
<b>Largura da ZTA</b>	Larga	Estreita
<b>Rigidez do sistema de giro da máquina</b>	Menor rigidez	Maior rigidez, maiores potências são necessárias

### **DISPOSIÇÕES METALÚRGICAS DO PROCESSO**

Examinadas metalográficamente, as zonas afetadas pelo calor dos dois lados da superfície de atrito, encontrou-se zonas com microestruturas, onde a figura abaixo demonstra as várias áreas afetadas pelo calor.

Principais comparações entre os dois processos foram realizadas com duas barras de aço SAE 1045, com 1" de diâmetro, no lado a) com velocidade= 0,84 m/s e no lado b) velocidade= 3,30 m/s.

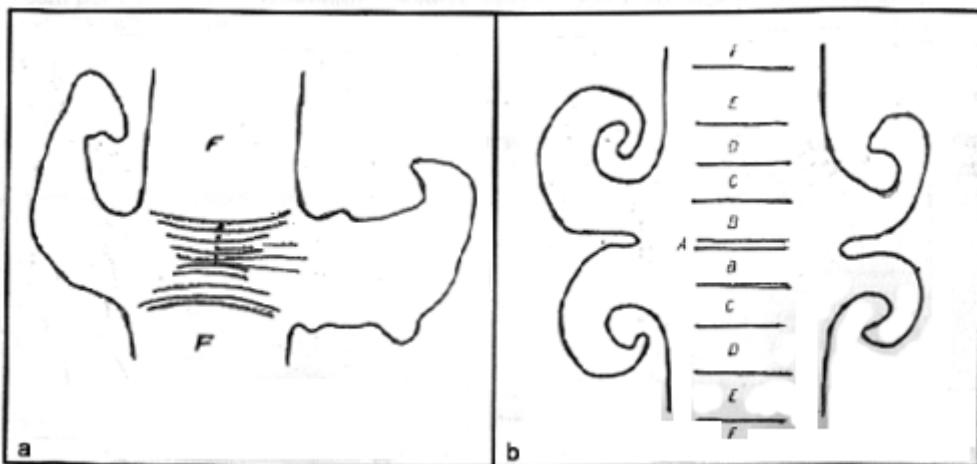


Figura 05 - ZTA de uma Barra Soldada por Fricção

**Zona A:** Área de deformação plástica severa. Aqui ocorreu atrito e transferência de partículas metálicas para a outra peça.

Considera-se que a temperatura neste região seja de aproximadamente 1300 °C e a granulação do metal é fina.

**Zona B:** Área de grão refinado. O exame indicou que houve nesta região deformação plástica considerável, ainda que não tenha diretamente participado do atrito e da transferência de partículas pelo caldeamento.

Nesta região a temperatura alcançada é de 1250 °C perto do limite com a zona A e 950 °C perto do limite da zona C. Bainita superior (adjacente) ao redor da zona A e bainita inferior nos outras regiões da zona.

**Zona C:** Zona inter-crítica. Esta zona sofre aquecimento entre 730 e 850 °C. A perlita desta região, rica em Carbono foi austenitizada e a ferrita não sofreu transformação.

**Zona D:** Zona esferoidizada. Esta região foi aquecida entre 650 e 730 °C. A cementita presente foi encontrada em lâminas e houve esferoidização da perlita.

**Zona E:** Zona de recristalização da ferrita. A temperatura entre 550 e 650 °C, proporcionou a recristalização da ferrita deformada e houve pequeno crescimento de grão.

**Zona F:** Estrutura do metal base. Temperatura, nesta região, não superior a 550 °C. Não houve transformação de fase.

## APLICAÇÕES

A soldagem por fricção oferece a possibilidade da soldagem de materiais dissimilares, com pontos de fusão diferentes, pois a soldagem não resulta de fusão e sim de caldeamento.

Para os materiais com baixo coeficiente de atrito, a soldagem fica dificultosa, no caso dos ferros fundidos existe um agravante, a grafita, que age como lubrificante. Isto também ocorre com os aços ao sulfeto de Mn porque apresentam uma fase distinta e quebradiça na estrutura.

A figura abaixo, destaca exemplos de peças soldadas por fricção.

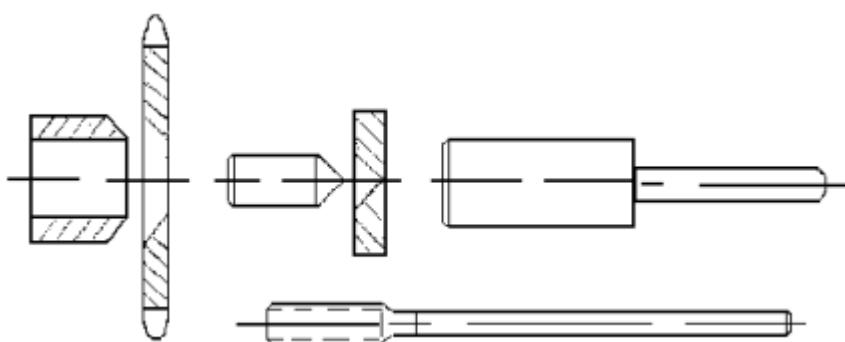


Figura 06 - Exemplos de componentes soldados por fricção

## OBSERVAÇÕES

- \* É desejável que os diâmetros das regiões de união das peças sejam iguais.
- \* Quando em soldagem de materiais diferentes, a peça com maior resistência deverá ter o menor diâmetro.
- Quando peças com diferentes diâmetros são soldadas, normalmente os tempos utilizados para a soldagem são diferentes.

**Tabela FW 02 - Combinações de materiais soldáveis por fricção**

	Al	Bronze	Cu	Cu-Ni	Mg	Monel	Ni	Aço Baixa Liga	Aço C	Aço Usinagem Fácil	Aço Inox	Aço Ferramenta	Ti	W	Material Valvulas
Al	█		█		█		█	█	█		█		█		
Bronze		█													
Cu	█		█								█		█		
Cu-Ni				█							█				
Mg	█				█						█				
Monel					█		█	█	█	█	█				
Ni	█					█	█	█	█	█	█	█	█		
Aço Baixa Liga	█						█	█			█	█			█
Aço C	█			█	█		█	█	█	█	█	█			█
Aço Usinagem Fácil							█	█		█	█	█			█
Aço Inox	█			█	█		█	█	█	█	█			█	█
Aço Ferramenta							█	█	█		█	█			
Ti	█												█		
W														█	
Material Valvulas								█	█	█	█				█

█ Boa Soldabilidade

██ Difícil Soldabilidade

Não soldável

## VARIÁVEIS

Os Gráficos FW 01 e FW 02 demonstram o comportamento das variáveis durante o processo de soldagem, em função do tempo de duração do processo.

Os parâmetros do processo a serem controlados são:

- \* Velocidade angular da peça com rotação
- \* Tempo de atrito
- \* Pressão de atrito
- \* Tempo de forjamento
- \* Pressão de forjamento
- \* Instante em que se aplica o freio
- \* Instante em que começa o forjamento

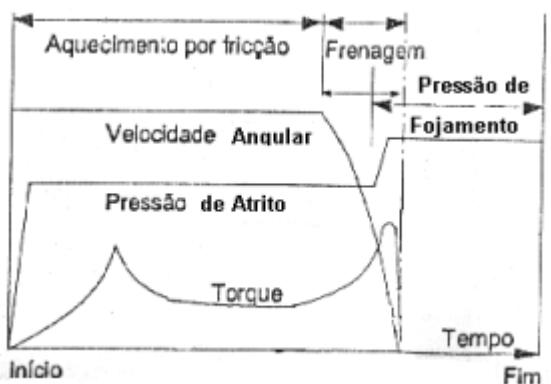


Gráfico FW 01 Variáveis de Sistema de impulsão direta

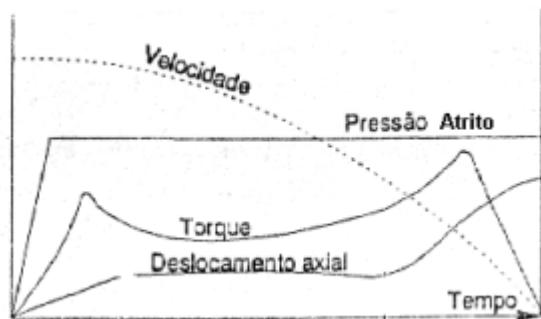


Gráfico FW 02 Variáveis de Sistema de impulsão inercial

A figura abaixo mostra os efeitos das variáveis de soldagem na interface e o formato do caldeamento e rebarbas formadas.

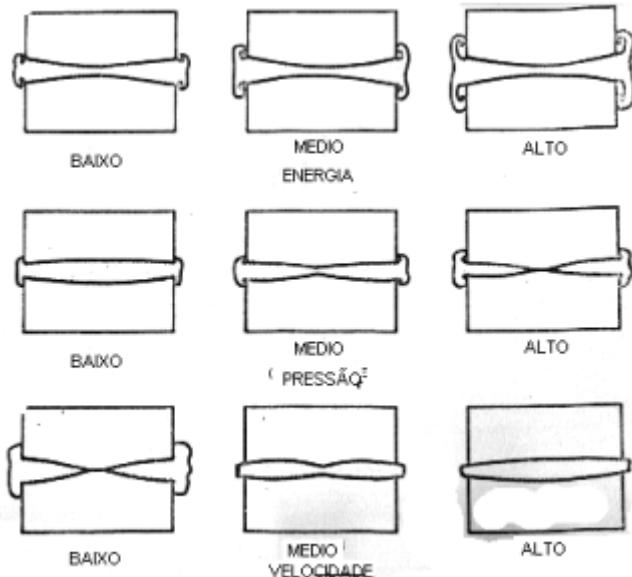


Figura 07 - Efeito das variáveis de soldagem

A velocidade de rotação normalmente utilizada fica em torno de 600 rpm.

A pressão de aquecimento e de soldagem dependem do material a ser soldado e normalmente estão respectivamente entre as faixas de 30 a 60 MPa e 80 a 155 MPa.

Quando trabalhamos com um tempo de atrito (aquecimento) muito curto, temos a facilidade de obter inclusão de óxidos e póros, e um tempo de atrito muito longo facilita o excesso de fusão de material podendo surgir pontos de fase líquida. Qualquer anormalidade do processo compromete a qualidade do trabalho.

### VANTAGENS

- \* No geral, não são necessários cuidados especiais na preparação das superfícies das peças que serão soldadas;
- \* Geralmente a interface da junta está livre de defeitos comuns aos processos por fusão;
- \* Não é necessária a utilização de metal de adição;
- \* Os parâmetros do processo são de fácil controle, sendo possível seu completo monitoramento para ser aplicado em produção seriada.
- \* A resistência da junta soldada é comparável, e superior a no mínimo um dos metais participantes da junta;

- \* Soldagem de metais dissimilares
- \* Soldagem de metais com diferentes geometrias

### ***DESVANTAGENS***

- \* Deve haver um eixo de simetria na peça em rotação;
- \* A preparação das superfícies dos materiais Al, Cu e aço inoxidável deve ser considerada.
- \* Defeitos de laminação nos materiais podem causar problemas.

### ***BIBLIOGRAFIA***

Manufacturing Technology, Inc  
Friction Welding - catálogo 94  
Tecnologia da Soldagem  
Coord. Paulo V. Marques - 91  
Soldagem, Processos & Metalurgia - ABM  
Coord. E. Wainer, S. Brandi, F. D. Homem de Mello - 92  
Welding Handbook - AWS  
Eighth Edition - Vol. 2 - 91  
Apostila Soldagem por Fricção - ABS  
Alberto Roldán - 94  
Revista Soldadura & Construções Metálicas - jul/83  
artigo de Smith, D.J.  
Curso de Especialização para Engenheiros na Área de soldagem  
Processos Especiais de Soldagem  
FBTS - SENAI-RJ 1995  
Luiz Gimenes jr. e Marcos Antonio Tremonti