

**PROCESSOS DE FABRICAÇÃO III  
SOLDAGEM**

**TENSÕES RESIDUAIS E  
AUTOMAÇÃO DA SOLDAGEM**

*Professor: Moisés Luiz Lagares Júnior*

# TENSÕES RESIDUAIS E DISTORÇÕES EM SOLDAGEM

*Processos de Fabricação III - SOLDAGEM*

---

É comum em operações de soldagem observar distorções.

Qual a origem destas distorções?

## TENSÕES RESIDUAIS E DISTORÇÕES EM SOLDAGEM

*Processos de Fabricação III - SOLDAGEM*

---

- As regiões aquecidas dilatam-se mas a dilatação é dificultada pelas partes adjacentes submetidas a temperaturas menores
- Consequência: deformações elásticas e, eventualmente, plásticas
- Resultado: tensões internas (tensões residuais)  
distorções
- Tensões internas: permanecem na peça quando todas as solicitações externas são removidas
- Distorções: mudança permanente na forma e dimensões da peça soldada

# TENSÕES RESIDUAIS E DISTORÇÕES EM SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

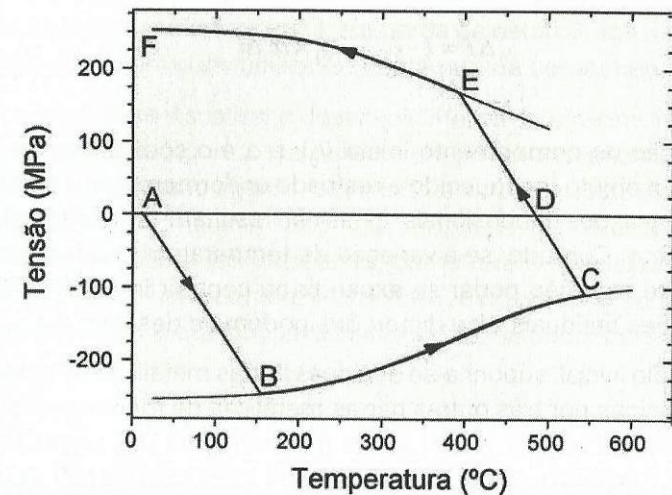
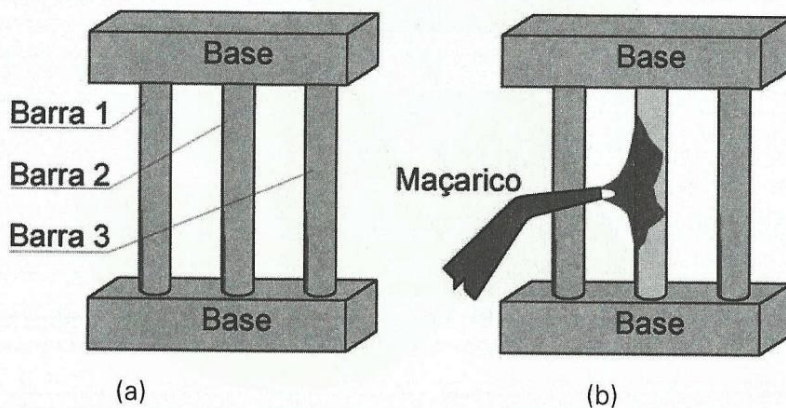
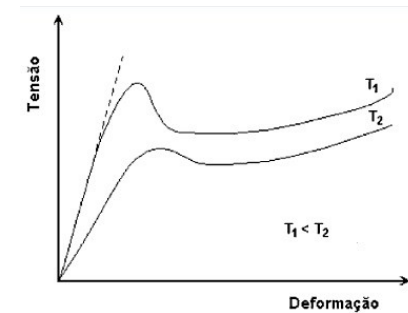


Figura 3  
Diagrama esquemático da montagem das três barras: (a) conjunto de barras presas nas extremidades e (b) barra central sendo aquecida

Figura 4  
Diagrama esquemático das tensões internas em função da temperatura na barra central da Figura 3

- A – nível de tensões internas nulo
- B – Limite de Escoamento em compressão
- C – Pico de temperatura
- D – Passagem de tensões de compressão para tração
- E – Limite de Escoamento em tração
- F – Tensões residuais



# TENSÕES RESIDUAIS E DISTORÇÕES EM SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

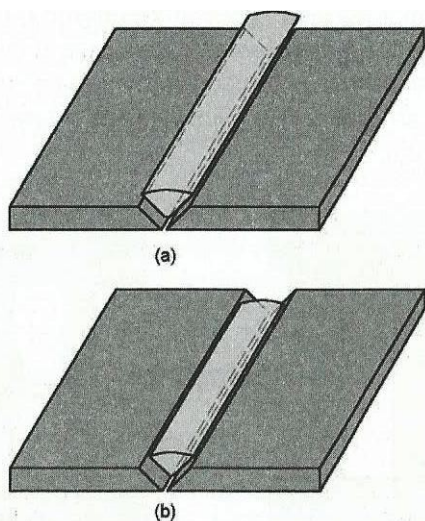


Figura 2  
Volume ocupado pelo metal de adição: (a) no estado líquido e (b) à temperatura ambiente.

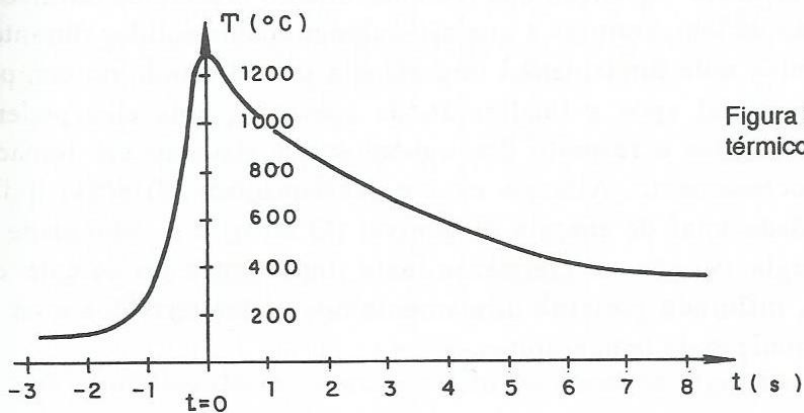


Figura 8.4 — Ciclo térmico de soldagem

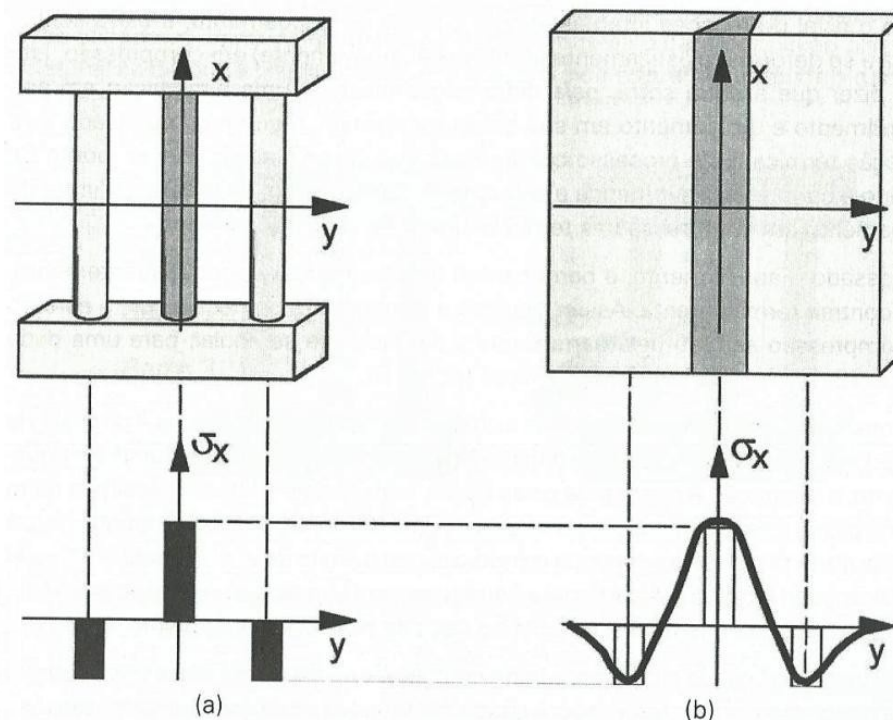


Figura 5  
(a) Comparação entre as tensões residuais desenvolvidas na montagem de três barras e (b) as tensões residuais longitudinais formadas ao longo da direção transversal (y) de uma solda de topo por fusão

# TENSÕES RESIDUAIS E DISTORÇÕES EM SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

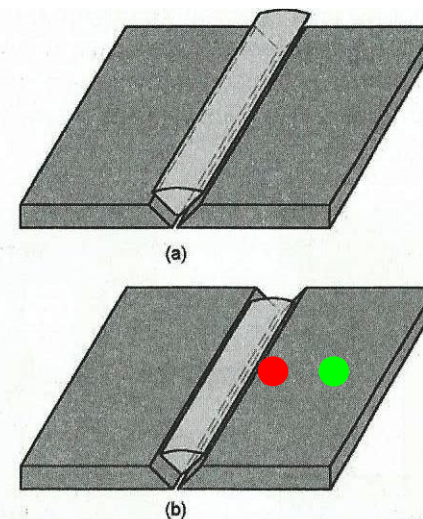
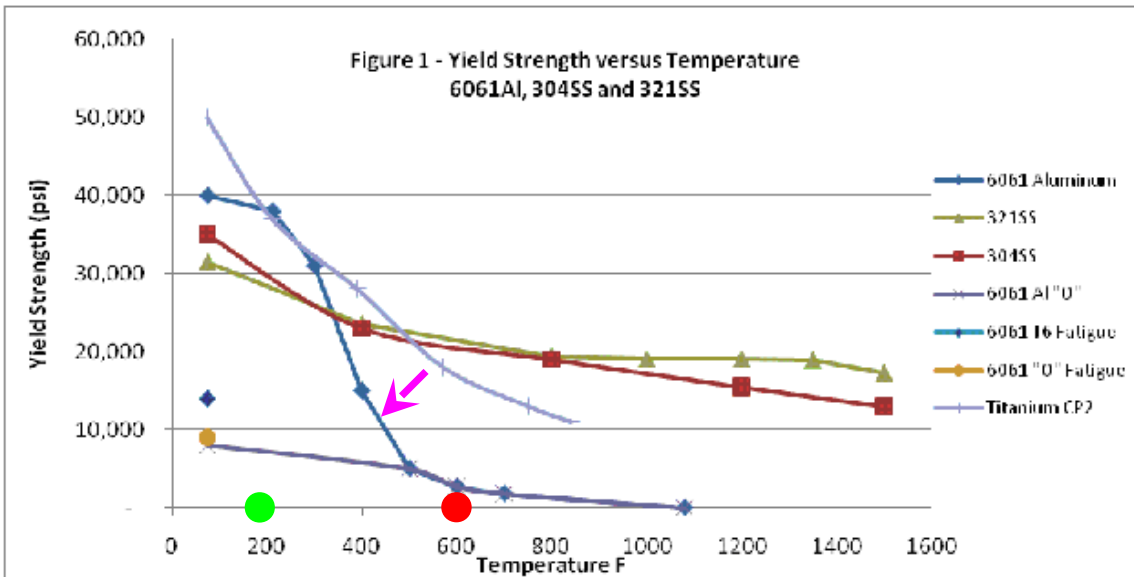
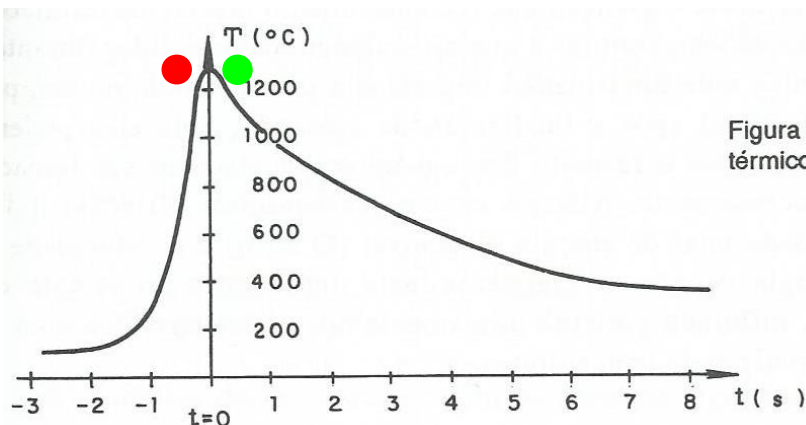
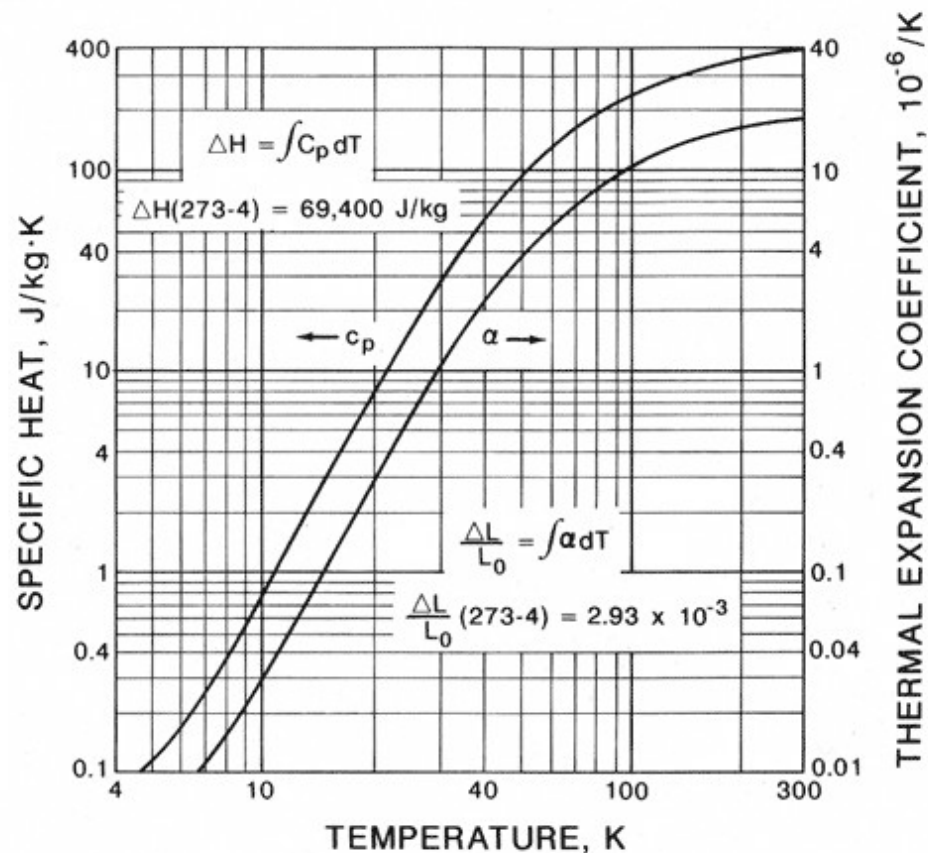
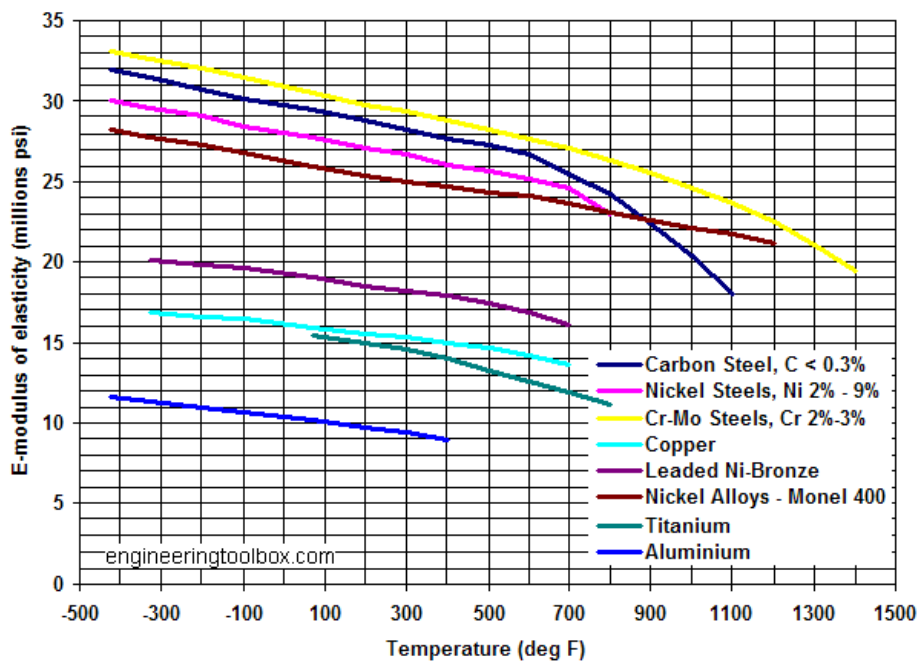


Figura 2  
Volume ocupado pelo metal de adição: (a) no estado líquido e (b) à temperatura ambiente, esquemático



# TENSÕES RESIDUAIS E DISTORÇÕES EM SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM



# TENSÕES RESIDUAIS E DISTORÇÕES EM SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

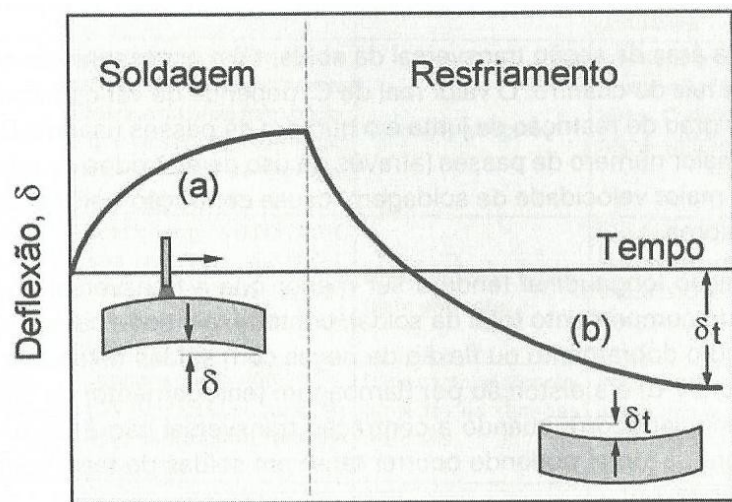


Figura 6  
Evolução da deflexão longitudinal de uma barra pelo calor de soldagem.  $\delta_t$  - Deflexão ou distorção final. (a) Soldagem, (b) resfriamento posterior

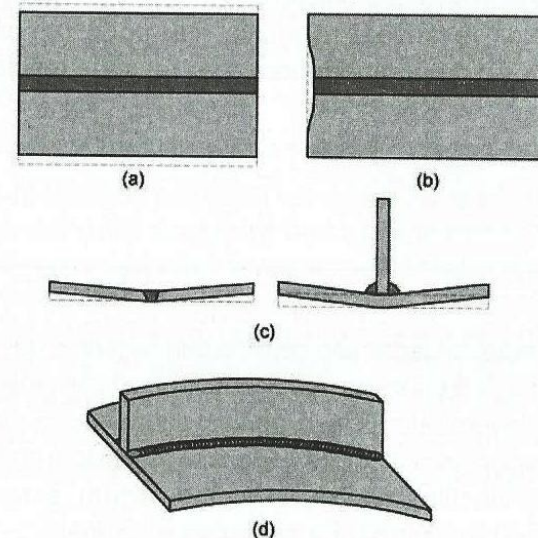


Figura 7  
Tipos básicos de distorção em soldagem: (a) contração transversal; (b) contração longitudinal; (c) distorção angular e (d) flexão em relação à linha neutra



## 5.2 – Controle e correção da distorção

Diversas medidas podem ser usadas para reduzir a distorção em soldagem, em diferentes etapas.

### 5.2.1 – No projeto de estruturas soldadas

- projetar estruturas com a menor quantidade possível de soldas;
- usar chanfros que necessitem da deposição de pouco metal de adição;
- usar chanfros simétricos (X, K, duplo U etc.);
- posicionar soldas junto da linha neutra da peça ou em posições simétricas em relação à linha neutra; e
- especificar o menor tamanho possível das soldas compatível com as solicitações existentes ou usar a soldagem intermitente.

### 5.2.2 – Na fabricação

- estimar a distorção que ocorrerá na estrutura e posicionar as peças de forma a compensar esta distorção (difícil de aplicar em estruturas complexas);
- colocar peças na sua posição correta e utilizar dispositivos de fixação e técnicas para minimizar a distorção (ponteamento antes da soldagem, gabaritos etc.); e
- usar seqüências de deposição de cordões de solda (deposição por partes, uso de mais de um soldador iniciando a operação no mesmo ponto e soldando em direções opostas) e de montagem (montagem por subcomponentes etc.) que minimizem a distorção.

## LDAGEM

*Processos de Fabricação III - SOLDAGEM*

---

## TENSÕES RESIDUAIS E DISTORÇÕES EM SOLDAGEM

*Processos de Fabricação III - SOLDAGEM*

### **5.2.3 – Após a soldagem (correção da distorção)**

a) remoção a quente:

- aquecimento localizado
- aquecimento uniforme e pressão mecânica

b) remoção a frio:

- calandragem
- prensagem
- martelamento etc.

## AUTOMAÇÃO DA SOLDAGEM

*Processos de Fabricação III - SOLDAGEM*

---

Qualquer sistema eletrônico ou mecânico que controle seu próprio funcionamento é um sistema automático. Na soldagem, a classificação é feita de acordo com as atividades necessárias para a produção de uma solda:

- abertura e manutenção do arco
- alimentação do material de adição
- controle do calor cedido e da penetração
- deslocamento da tocha ao longo da junta com uma velocidade determinada
- procura e seguimento da junta
- mudanças e compensações para variações na preparação ao longo da junta
- direcionamento da tocha e do arco

**Tabela I – Tipos de operação de soldagem de acordo com a AWS**

Tipo de operação →	Manual	Semiauto- mático	Mecani- zado	Automático	Robotizado	Controle Adaptativo
	Ação					
Abertura e manutenção do arco	Soldador	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô)
Alimentação de material	Soldador	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina
Controle do calor e penetração	Soldador	Soldador	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô) (só com sensor)
Deslocamento da tocha	Soldador	Soldador	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô)
Procura e seguimento da junta	Soldador	Soldador	Soldador	Máquina, trilha programada	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô) (só com sensor)
Direcionamento da tocha e do arco	Soldador	Soldador	Soldador	Máquina	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô)
Correção e compensação	Soldador	Soldador	Soldador	Não ocorre	Máquina (com sensor)	Máquina (Robô) (só com sensor)

*Processos de Fabricação III - SOLDAGEM*

## AUTOMAÇÃO DA SOLDAGEM

Processos de Fabricação III - SOLDAGEM

**Tabela II – Classificação dos processos de soldagem revisada**

Atividades	Tipo de operação			
	Manual	Semimecanizado	Mecanizado	Automático
Abertura e manutenção do arco	Soldador	Máquina	Máquina	Máquina
Alimentação de material	Soldador	Máquina	Máquina	Máquina
Controle do calor e penetração	Soldador	Soldador	Máquina	Máquina
Deslocamento da tocha	Soldador	Soldador	Máquina	Máquina
Procura e seguimento da junta	Soldador	Soldador	Soldador	Máquina
Direcionamento da tocha e do arco	Soldador	Soldador	Soldador	Máquina
Correções e compensações	Soldador	Soldador	Soldador	Máquina (podendo ou não ocorrer)