



Labconf

Laboratório de Conformação Mecânica - UFPR

Aspectos Gerais da Conformação

**Prof. Paulo Marcondes, PhD.
DEMEC / UFPR**

Aspectos gerais da conformação

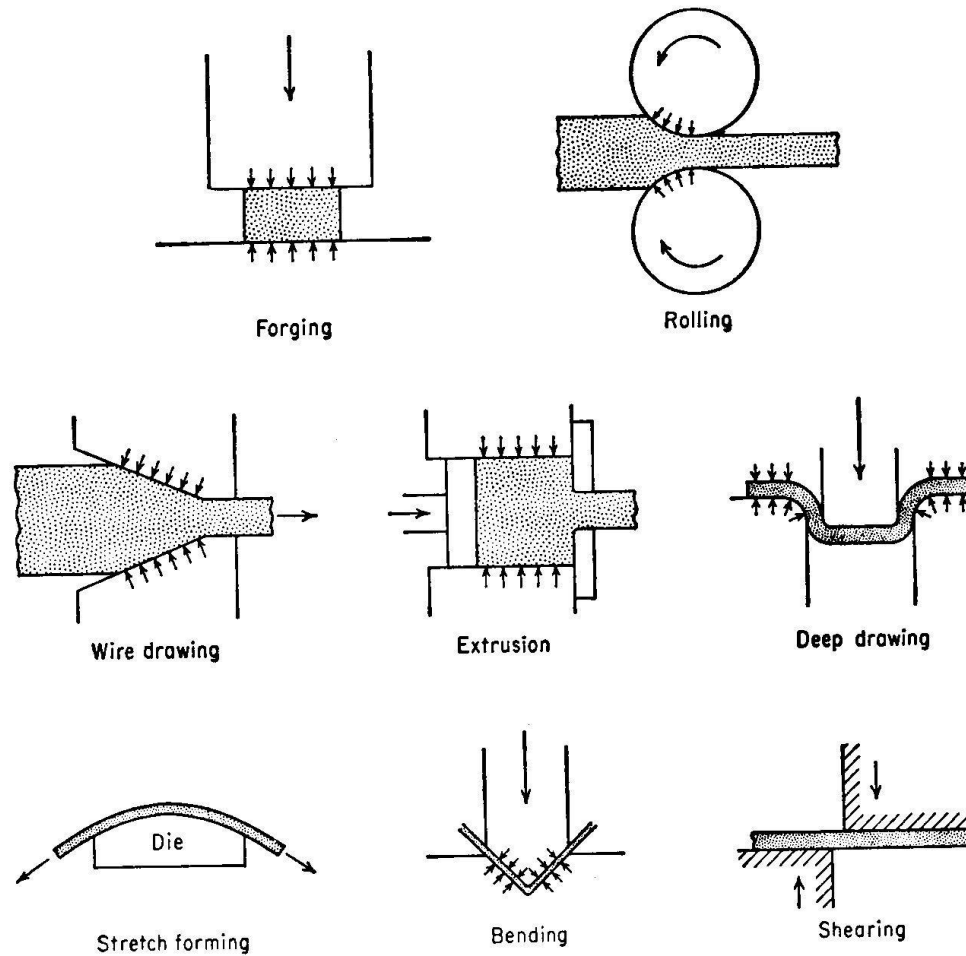
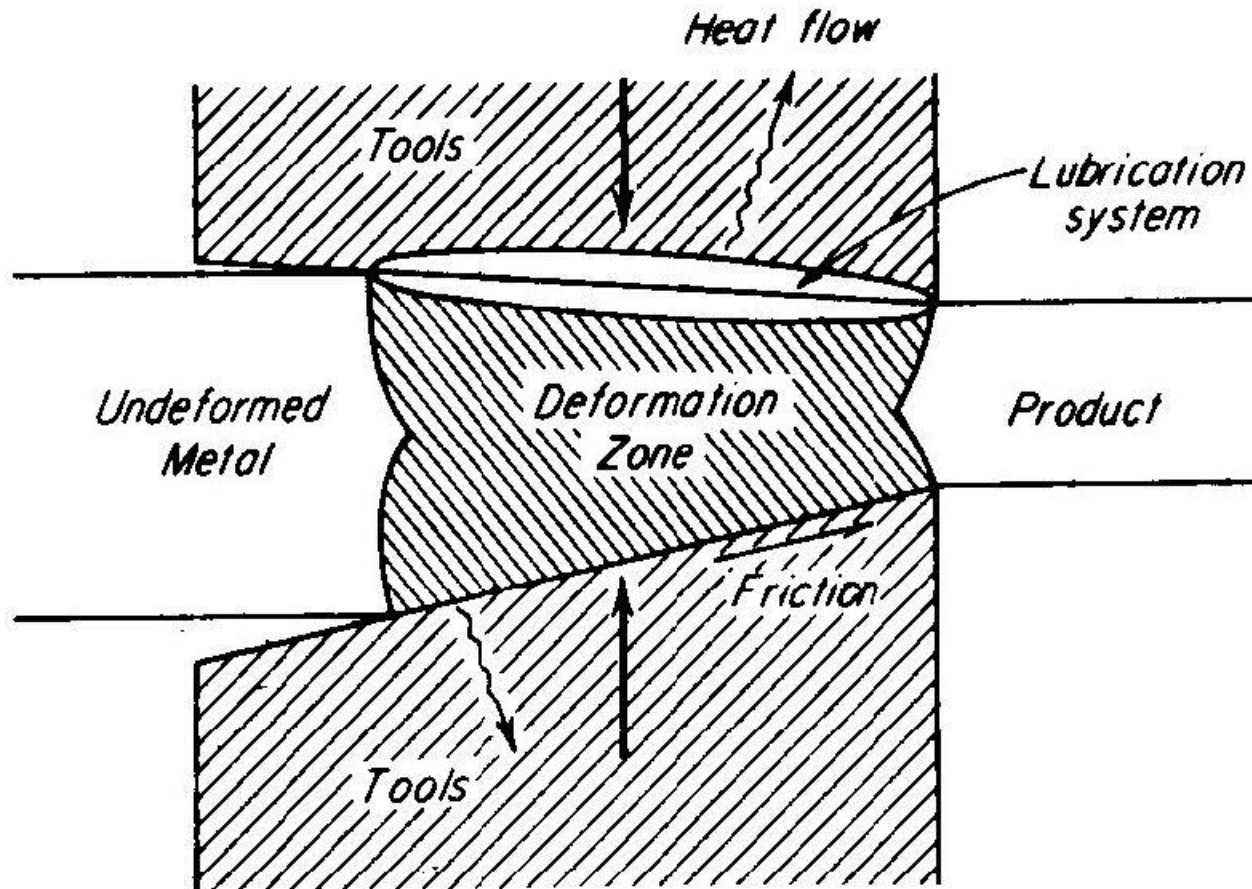


Fig. 15-1 Typical forming operations.

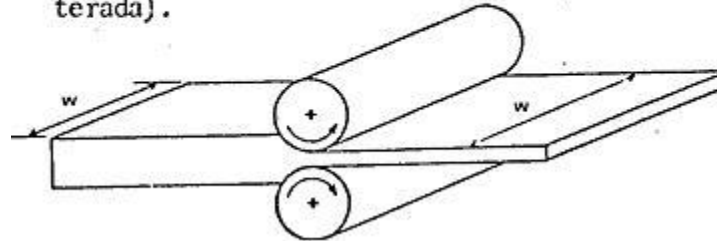
Aspectos gerais da conformação



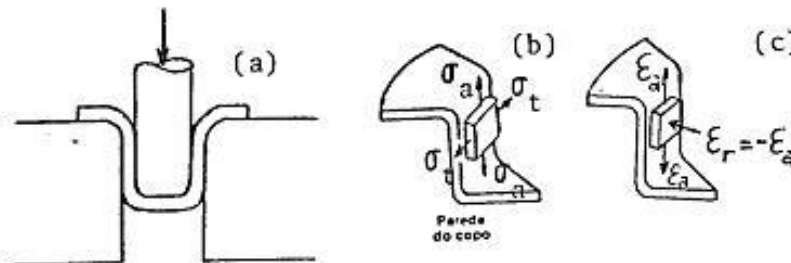
Estado de tensão e de deformação:

Deformação plana ou bi-axial ('plane strain')

Esquema da laminação de uma placa, mostrando o estado de deformação plana (largura inalterada).



Deformação plana com tração



Esquema do embutimento de um copo cilíndrico (a), mostrando o estado de tensão (b) e o estado de deformação (c) na parede do copo durante a operação.

Aspectos gerais da conformação

Círculo de Mohr

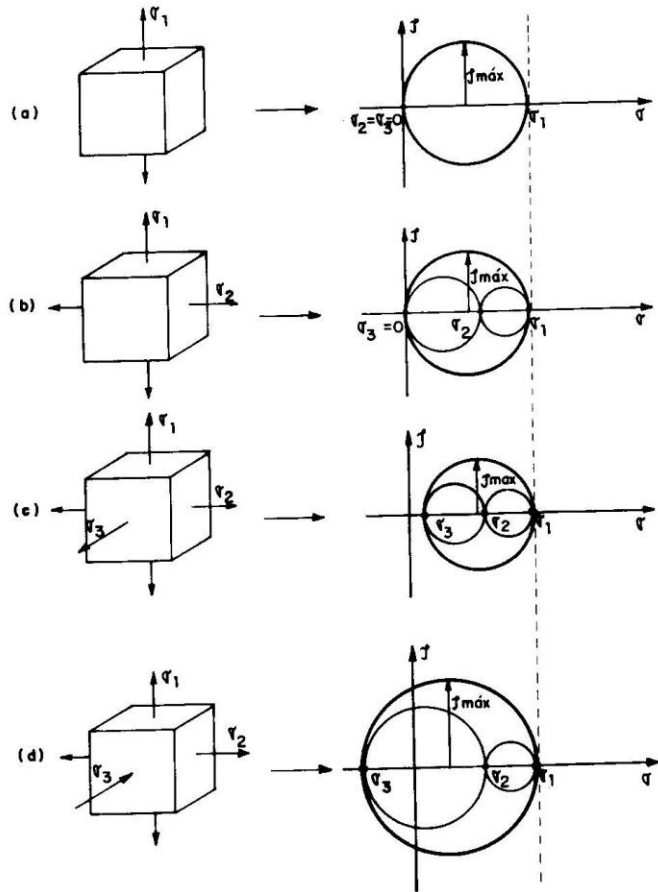


Fig. 1.13 Exemplos de círculos de Mohr para diferentes estados de tensão.

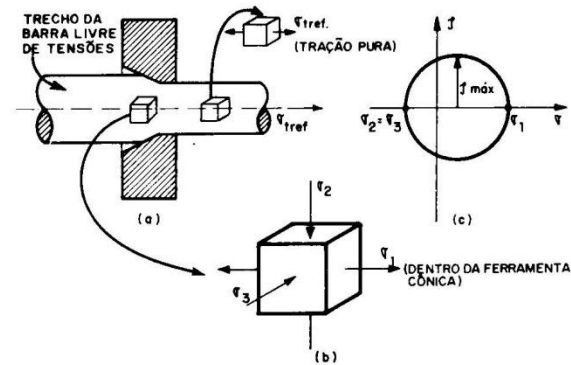
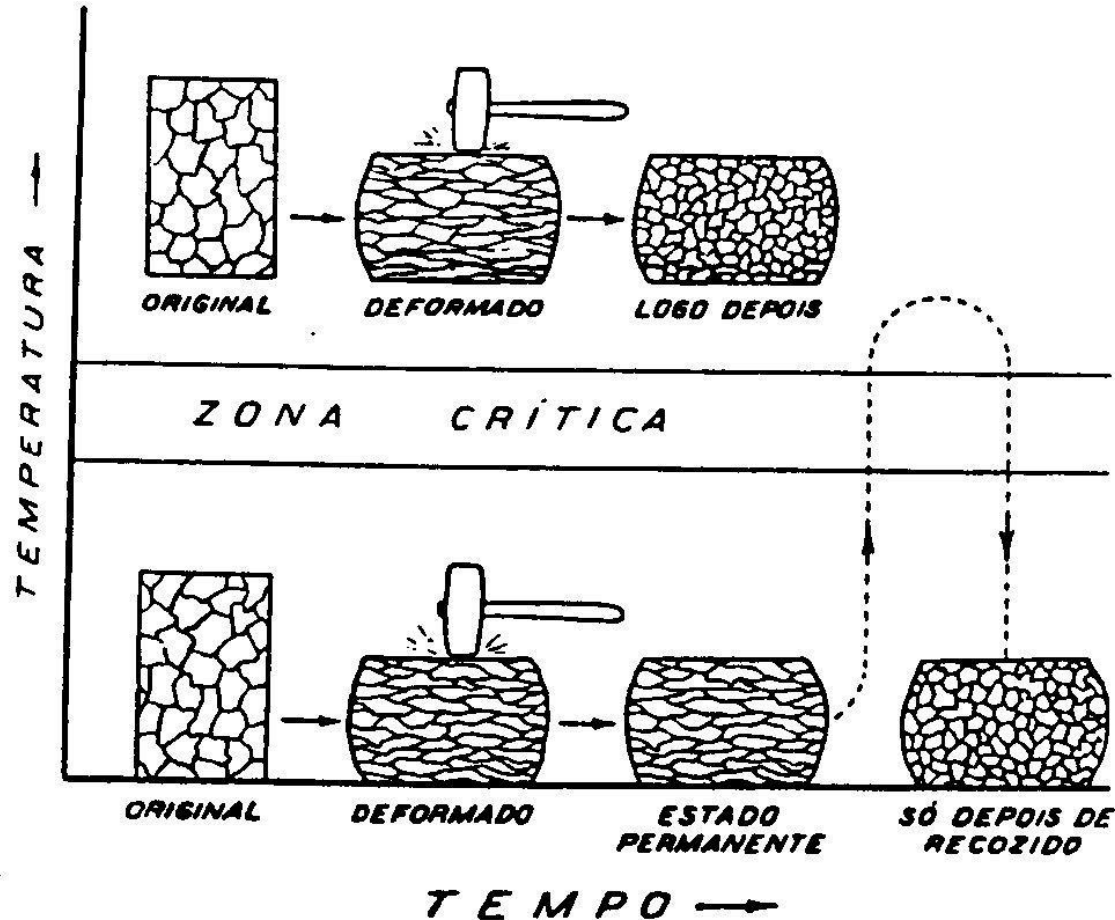


Fig. 1.15 Estado aproximado de tensões e círculo de Mohr correspondente para o caso da trefilação.

Círculo de Mohr em trefilação

Aspectos gerais da conformação

Efeitos da temperatura na conformação



Aspectos gerais da conformação

Os processos podem ser subdivididos quanto à temperatura em que são realizados:

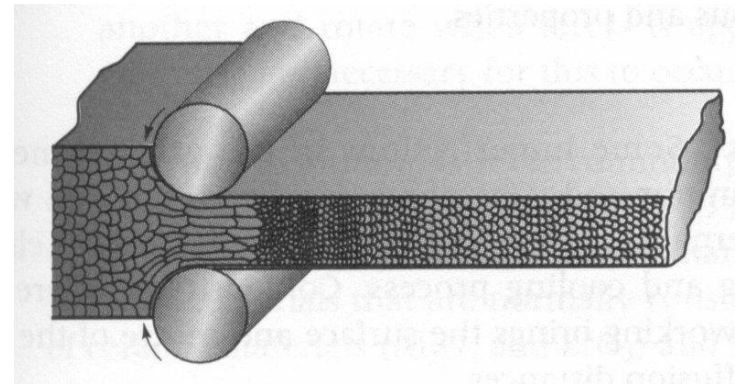
A quente

Vantagens:

- reduzir os esforços de deformação;
- aumentar a homogeneidade;
- reduzir a anisotropia e
- induzir a recristalização (reduzir o tamanho de grão).

Desvantagens:

- oxidação da superfície (laminação);
- descarburização (perda de material);
- difícil controle dimensional (dilatação e contração térmica) e
- anisotropia (grãos menores na superfície).



A frio

Vantagens:

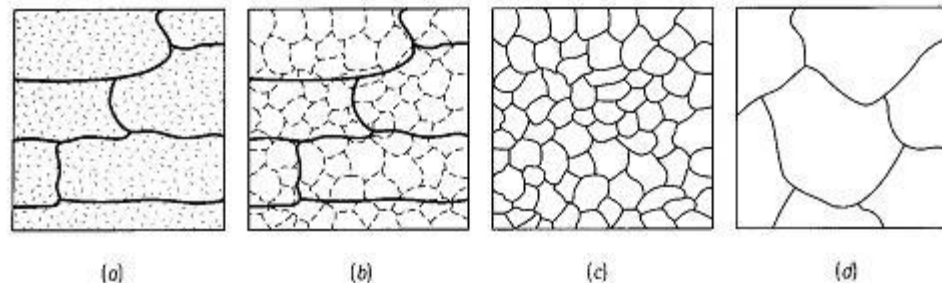
- excelentes tolerâncias dimensionais e acabamento superficial;
- aumento da resistência e dureza;
- barato para grandes lotes de pequenas peças e
- boa condutividade elétrica.

Desvantagens:

- não adequados para trabalhos em alta temperatura e
- baixa ductilidade.

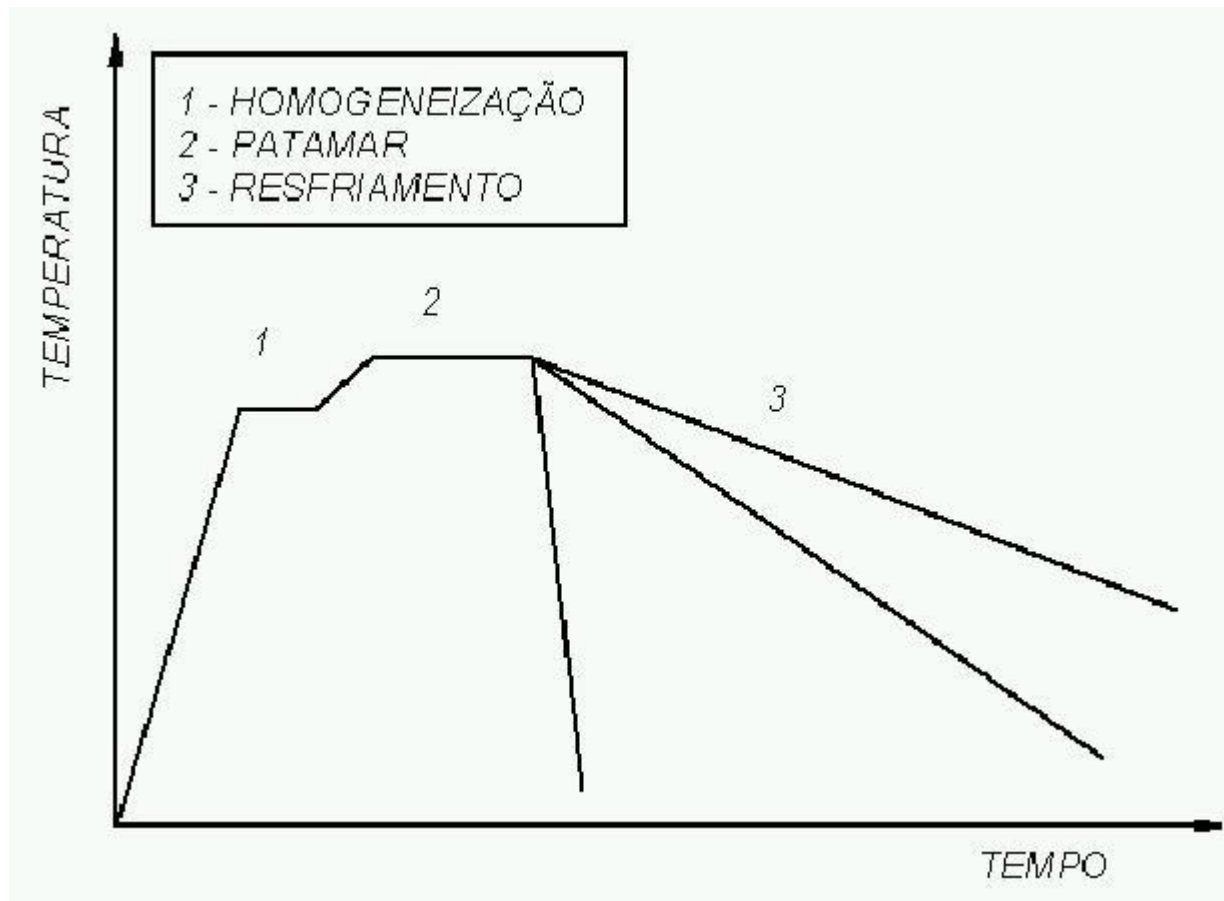
Recozimento

- Recuperação;
- Recristalização;
 - Temperatura de recristalização
- Coalescimento.



The effect of annealing temperature on the microstructure of cold-worked metals: (a) cold worked, (b) after recovery, (c) after recrystallisation, and (d) after grain growth.

Aspectos gerais da conformação



Atrito

Atrito em processos de conformação

Coeficiente de atrito

- atrito de deslizamento e
- atrito de aderência.

Os efeitos práticos principais do atrito são:

- Aumentar o esforço necessário a conformação;
- Aumentar o desgaste das ferramentas e matrizes;
- Prejudicar o acabamento superficial e
- *Acentuar a tendência à ruptura e ao trincamento da peça (tende a tornar a deformação mais heterogênea).*

Aspectos gerais da conformação



<i>Valores de μ para diferentes processos</i>		μ
A — Laminação a frio		
Aço ao C — cilindro de aço polido — lubrificada		0,04-0,05
Aço ao C — cilindro de aço polido — imersão — boa lubrificação		0,05-0,10
Aço ao C — cilindro rugoso ("sand blast")		0,30
Al, Cu e Pb — cilindro de aço polido		0,10
Al, Cu e Pb — cilindro rugoso		0,40
A' — Laminação a quente		
Aço ao C — cilindro de aço — 400-900°C		0,40
Aço ao C — cilindro de aço — -1000°C		0,30
Aço ao C — cilindro de aço — -1100°C		0,20
Aço ao C — cilindro fundido (aprox. 50% maior)		
Alumínio — cilindro de aço — 375°C		0,54
Cobre — cilindro de aço — 750°C		0,35
Níquel e chumbo — cilindro de aço — 900 e 180°C		0,32
Bismuto e cádmio — cilindro de aço — 150 e 180°C		0,25
Estanho e zinco — cilindro de aço — 100 e 110°C		0,17
B — Trefilação		
Aço ao C — matriz CW — diferentes lubrificantes		0,03-0,06
Cobre — matriz CW — lubrif. forçada de óleo		0,06
Latão — matriz de aço — lubrif. forçada de óleo		0,10
Cobre e inox — matriz CW — cera		0,07
Cobre e inox — matriz CW — azeites minerais		0,30
C — Estampagem profunda		
Alumínio — lubrificado com sebo		0,10
Cobre — lubrificado com óleo sob pressão		0,15
Latão — lubrificado com óleo sob pressão		0,08-0,12
Bronze — lubrificado com óleo sob pressão		0,14

Lubrificação :

As forças de fricção ocorrem entre as peças e as ferramentas de conformação:

- Limitrofe ou limite

Considerações importantes:

- Aditivos de extrema pressão
- Revestimentos conversivos.

Efeitos funcionais dos lubrificantes:

- Reduzir os carregamentos necessários para a deformação;
- Melhor controle de acabamento superficial;
- Minimizar a soldagem do metal no ferramental;
- Minimizar o desgaste das ferramentas;
- Isolar termicamente as peças e ferramentas;
- Resfriar as peças e ferramentas e
- *Aumentar os limites de deformação antes da fratura*

Função dos Lubrificantes:

Os lubrificantes reduzem o atrito ao introduzirem uma interface que seja facilmente cisalhada.

Aspectos gerais da conformação



Tensões residuais em produtos conformados:

Aparecem em um corpo quando o mesmo está livre de forças externas.

- São geradas por deformação plástica não-uniforme e são tensões elásticas no máximo iguais ao limite de escoamento.
- Alívio de tensões
porém, uma não-uniforme termo-expansão ou contração devido a um não-uniforme aquecimento ou resfriamento pode originar tensões residuais.
 - É importante um **resfriamento lento**.

Obs. Deformação plástica em temperatura ambiente pode aliviar tensão residual.

Aspectos gerais da conformação

Tensões residuais:

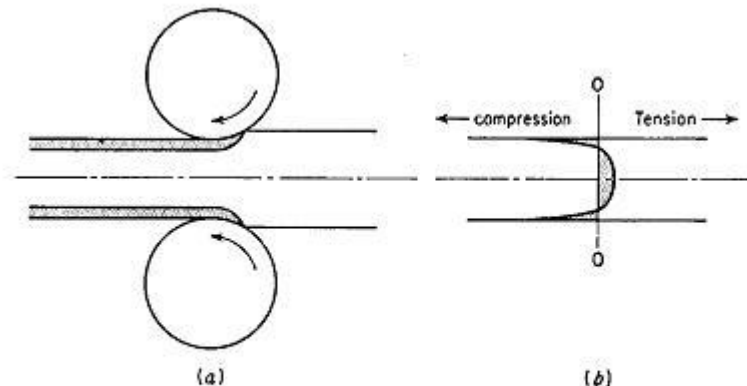
- Técnicas experimentais.

Testes destrutivos:

A remoção da parte estressada para causar uma redistribuição da tensão no restante do corpo da peça.

Usinagem de camadas superficiais ou furando um pequeno orifício e medindo a redistribuição de tensão.

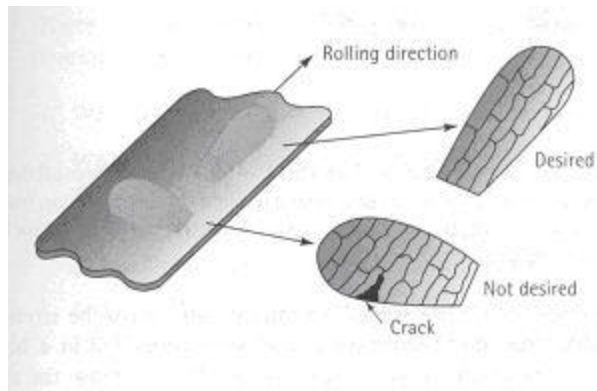
Um método não destrutivo é a difração de raios-X.



(a) Inhomogeneous deformation in rolling of sheet; (b) resulting distribution of longitudinal residual stress over thickness of sheet (schematic).

Efeitos metalúrgicos na conformação

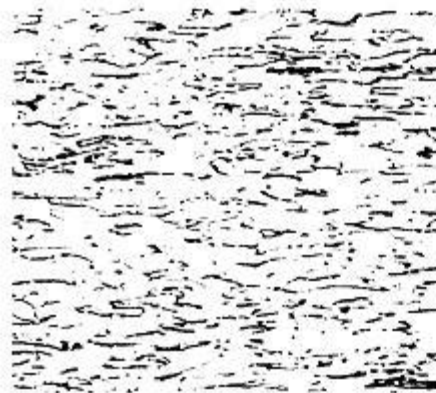
Fibramento mecânico
(textura metalográfica)



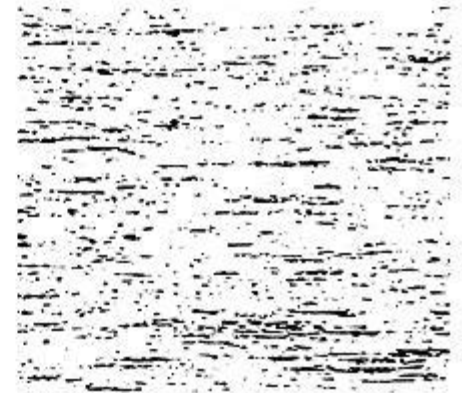
(a)



(b)



(c)



(d)

The fibrous grain structure of a low carbon steel produced by cold working: (a) 10% cold work, (b) 30% cold work, (c) 60% cold work, and (d) 90% cold work ($\times 250$). (From Metals Handbook, Vol. 9, 9th Ed. American Society For Metals, 1985.)