



Complementos de Fabricação Mecânica

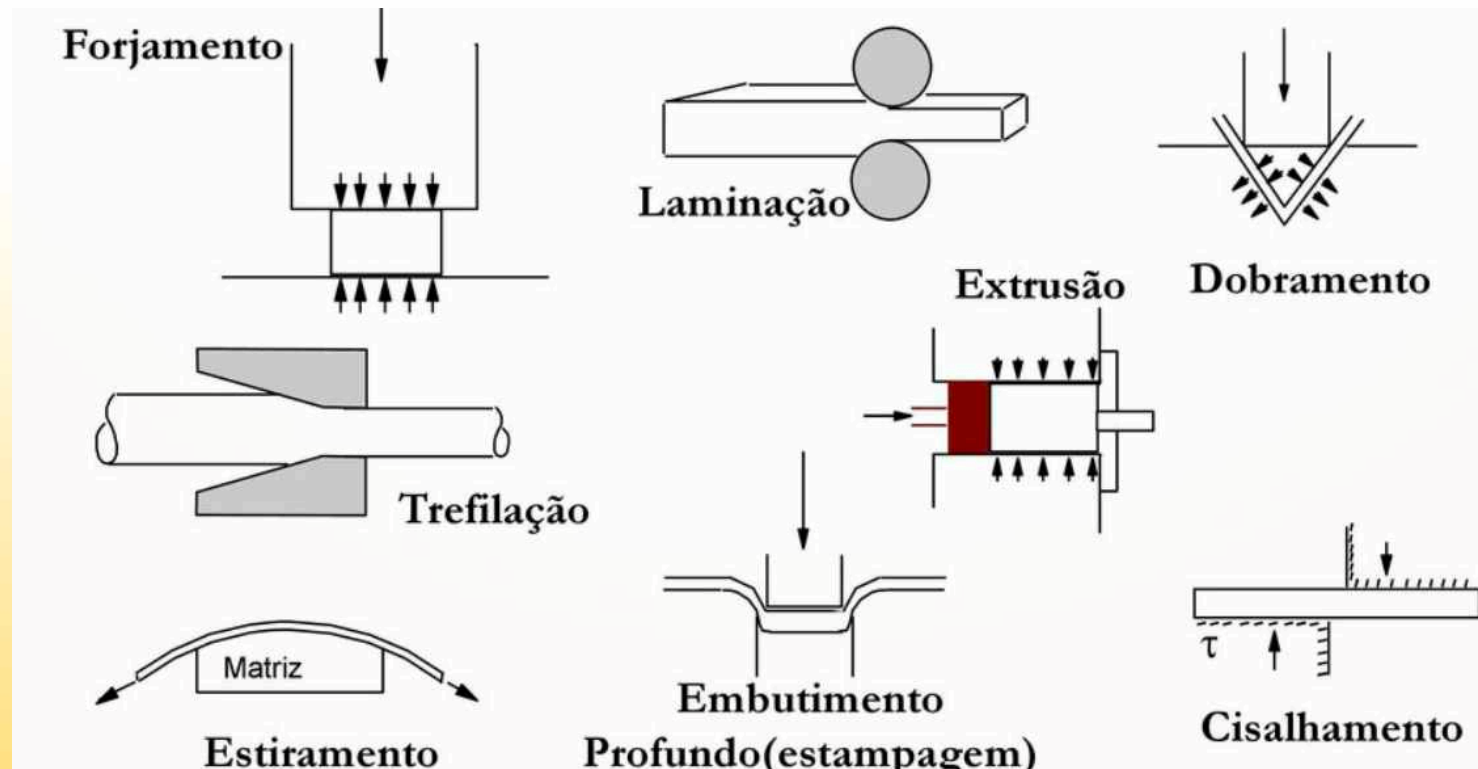
PMR 3301

Profa. Izabel Machado

machadoi@usp.br



- Alterações geométricas que geram uma peça ou componente com formas e tolerâncias definidas.
- Alterações microestruturais também ocorrem, após o processamento, o que define diferentes propriedades mecânicas.



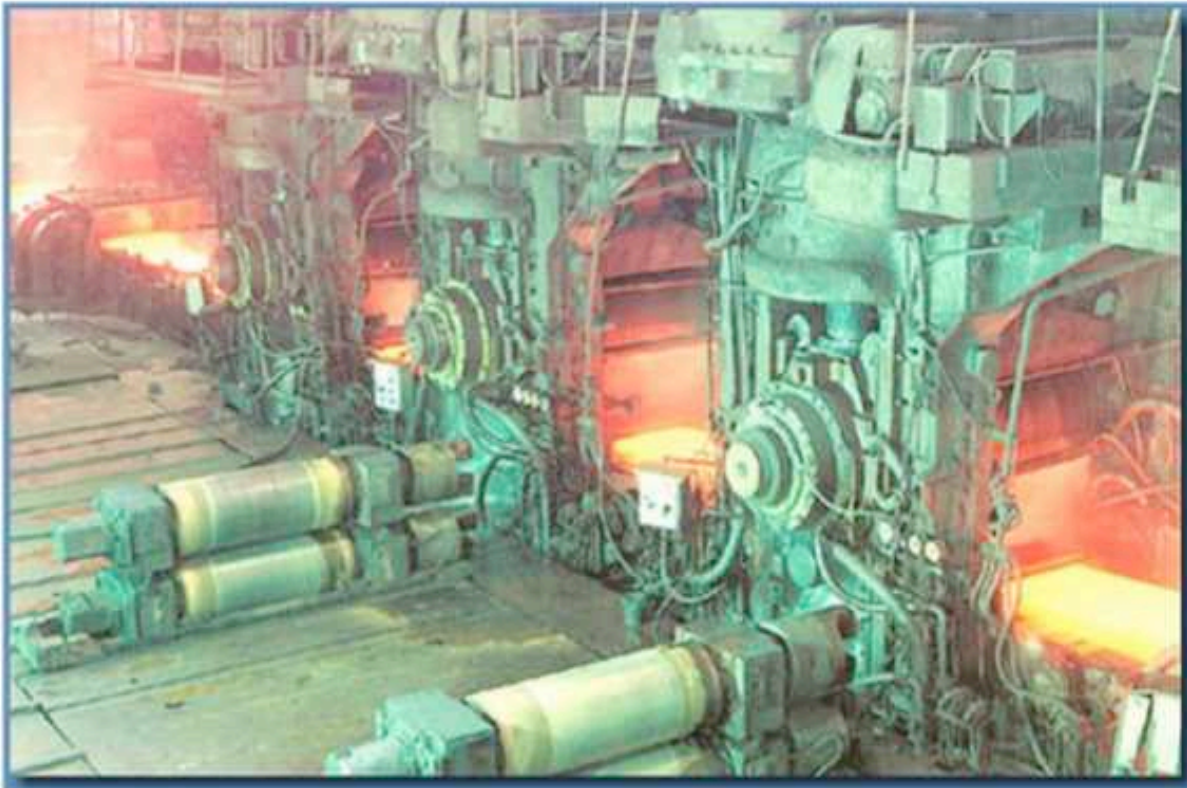


Alteração na geometria utilizando conformação mecânica





LAMINAÇÃO A QUENTE



Laminador de tiras a quente

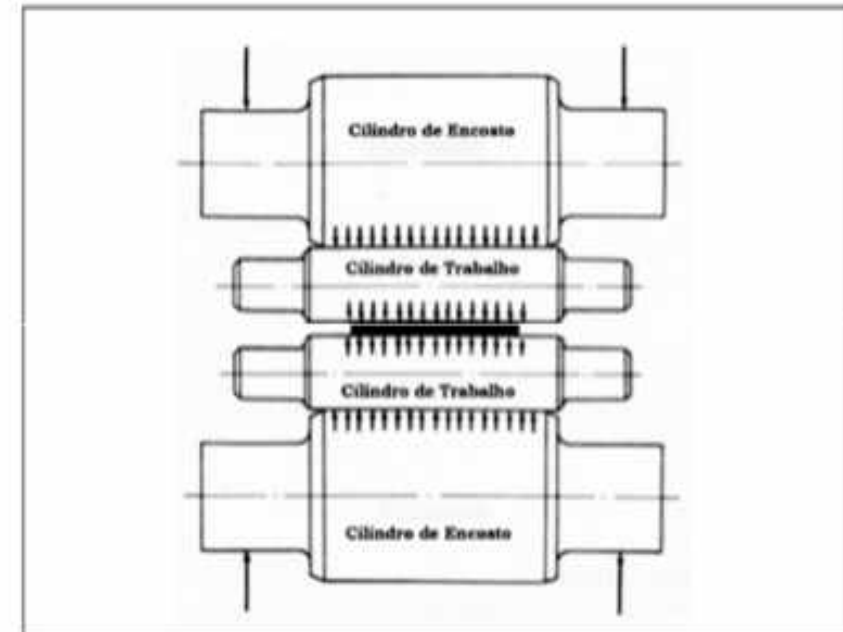


Laminador de tiras a quente



Os cilindros de laminação podem utilizados como cilindros de trabalho ou cilindros de encosto (ou apoio).

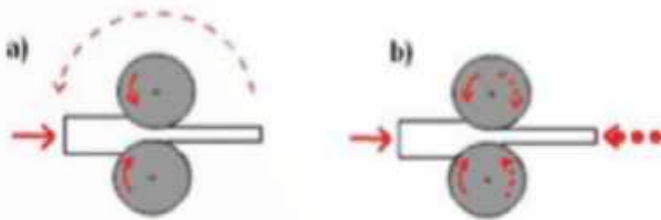
- Os cilindros de trabalho são aqueles que entram em contato direto com o material laminado. Sofrem, portanto, as maiores solicitações de temperatura e desgaste.
- Os cilindros de encosto (ou apoio) são aqueles que não entram em contato com o material laminado, mas sim com o cilindro de trabalho. Servem para apoiar o cilindro de trabalho impedindo sua flexão. Para isso, são cilindros de maior porte.



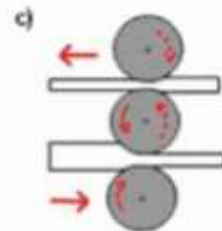


Peças e components obtidos por conformação mecânica

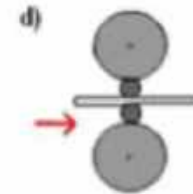
• **DUO:** o mais simples de todos, é constituído por dois cilindros de eixos horizontais, colocados verticalmente um sobre o outro. Pode ser reversível ou não.



• **TRIO:** os cilindros sempre giram no mesmo sentido. Porém, o material pode ser laminado nos dois sentidos, passando-o alternadamente entre o cilindro superior e o intermediário e entre o intermediário e o inferior.



• **QUADRUO:** para a laminação de materiais de menor espessura é interessante utilizar cilindros de trabalho de pequeno diâmetro. Entretanto, estes cilindros podem sofrer flexão. Para evitar a flexão, estes cilindros são apoiados por cilindros denominados cilindros de encosto



• **SENDZIMIR:** quando o diâmetro dos cilindros de trabalho é pequeno (<100 mm), eles podem sofrer flexão tanto na direção vertical quanto na horizontal. Para evitar a flexão, os cilindros devem ser apoiados em ambas as direções

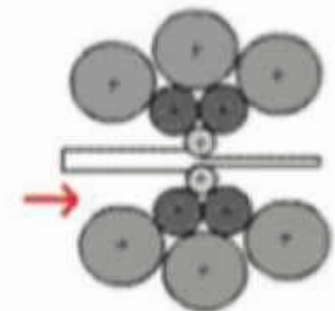
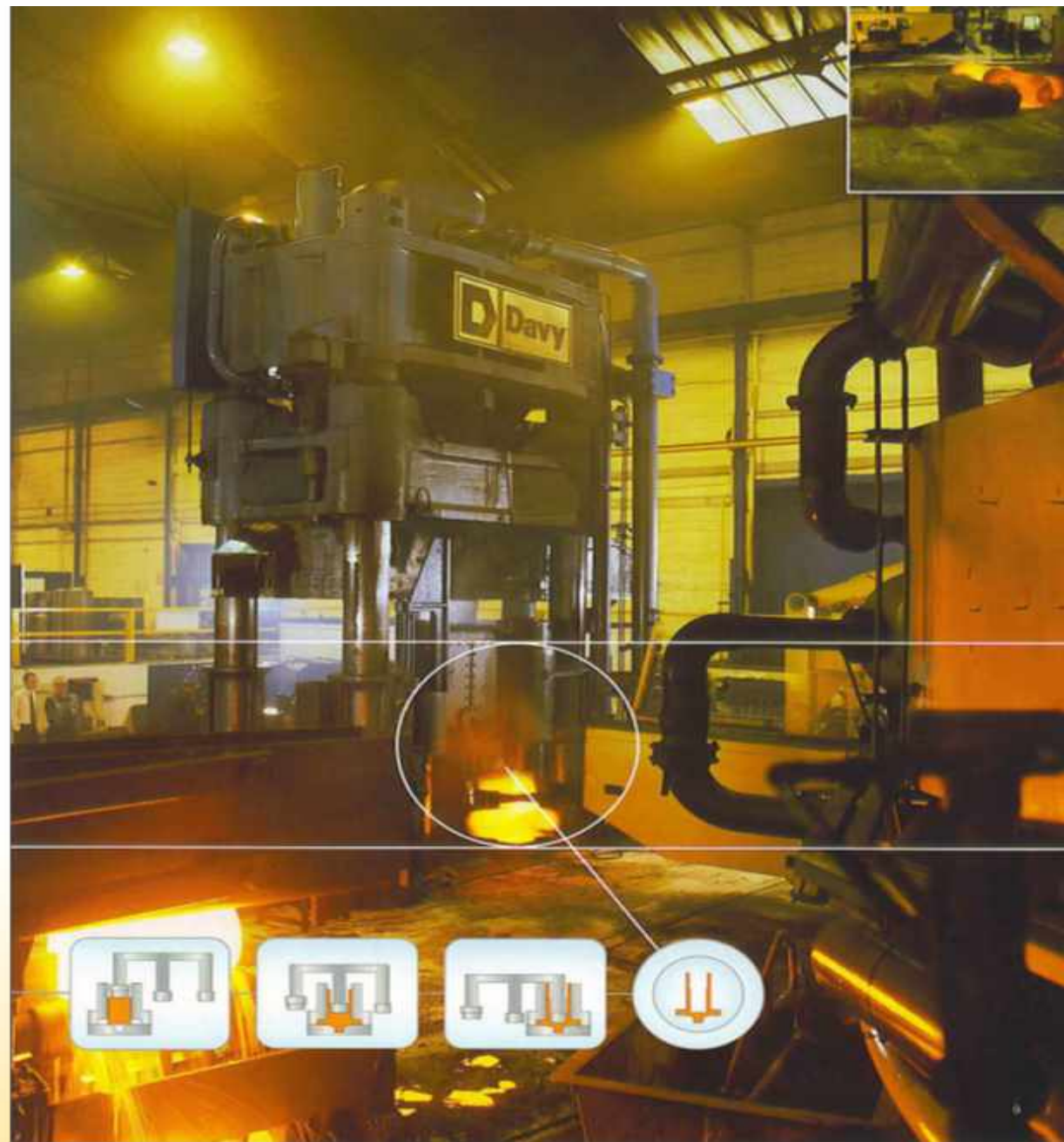
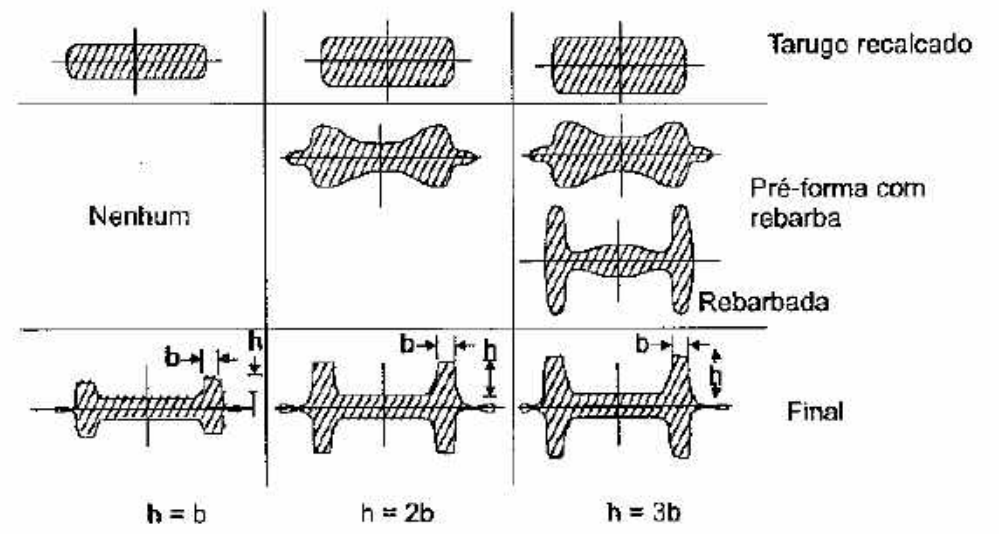
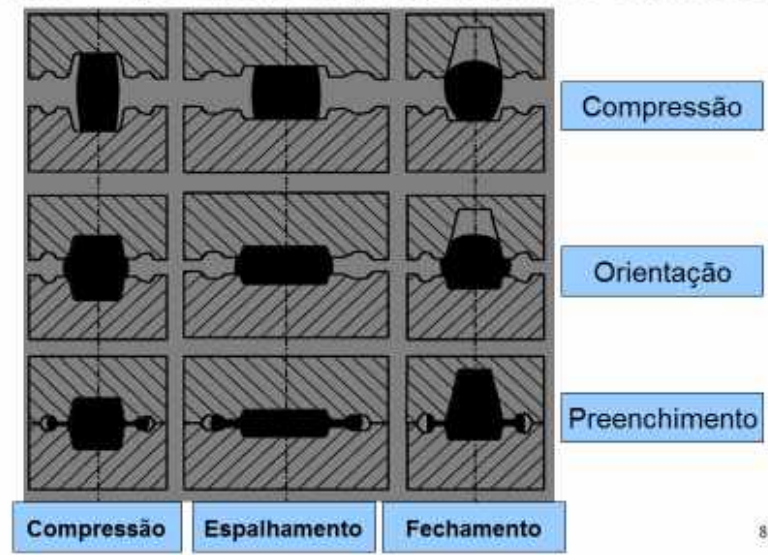
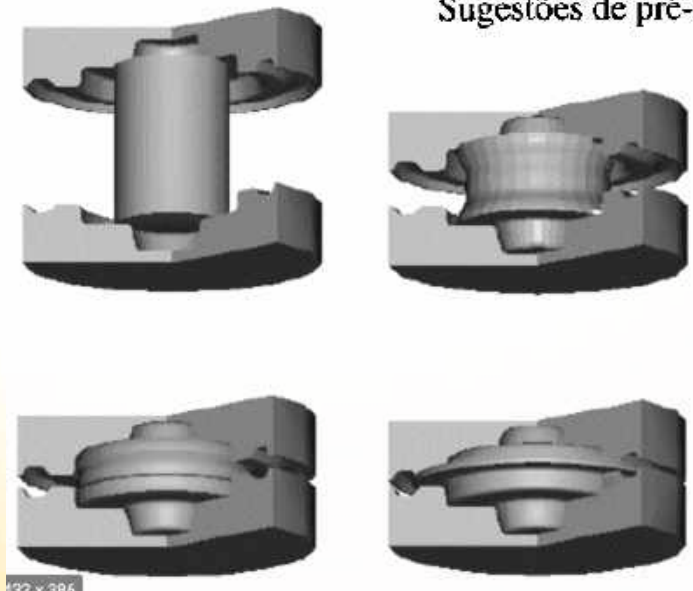


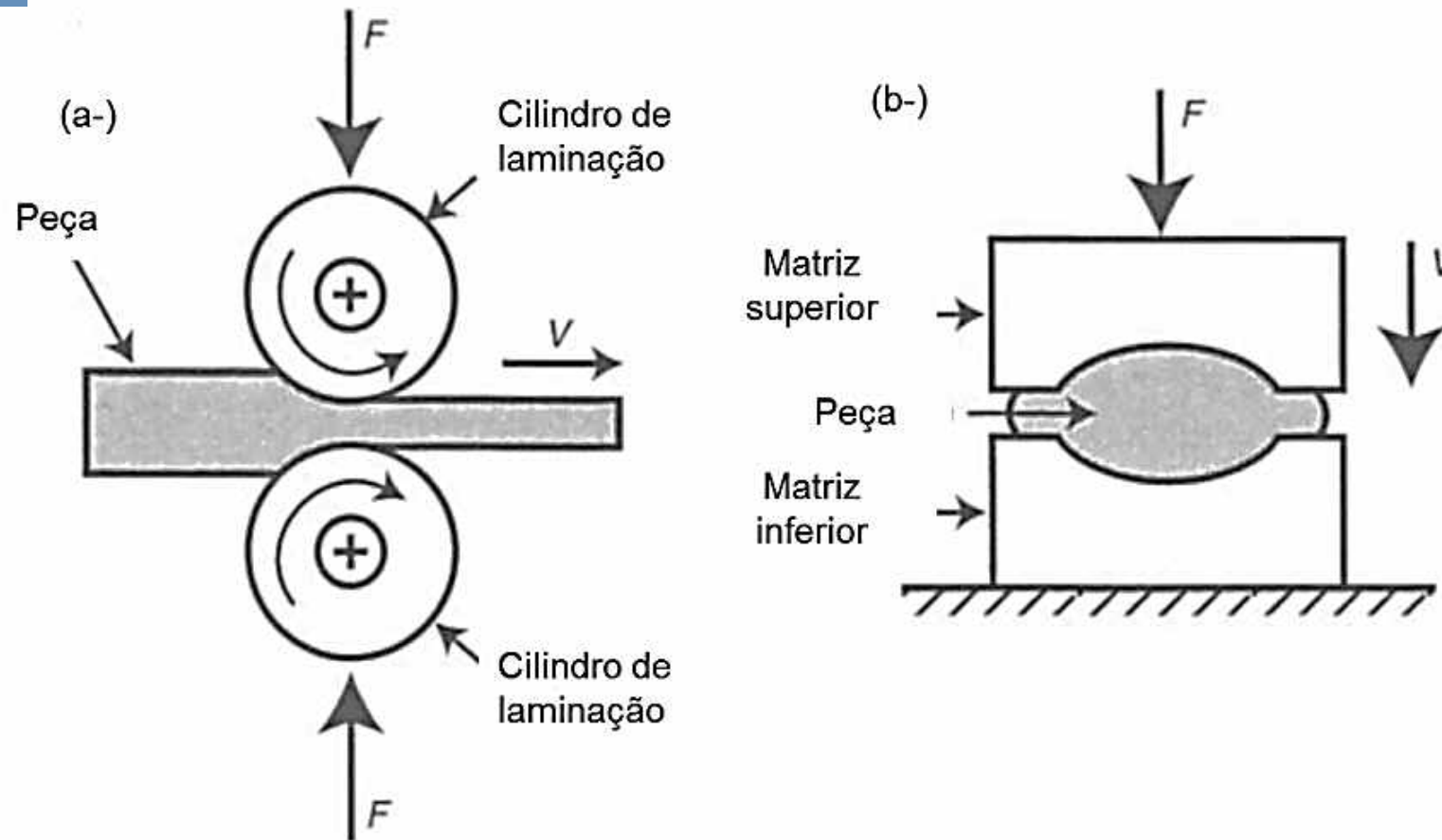
Ilustração do processo de forjamento a quente com a utilização de prensa hidráulica; as imagens ampliadas servem para mostrar a sequência geral envolvida neste processo. (UDOMPHOL, 2007)





Sugestões de pré-forma para várias seções em forma de "H" em aço.⁽¹¹⁻⁹⁾



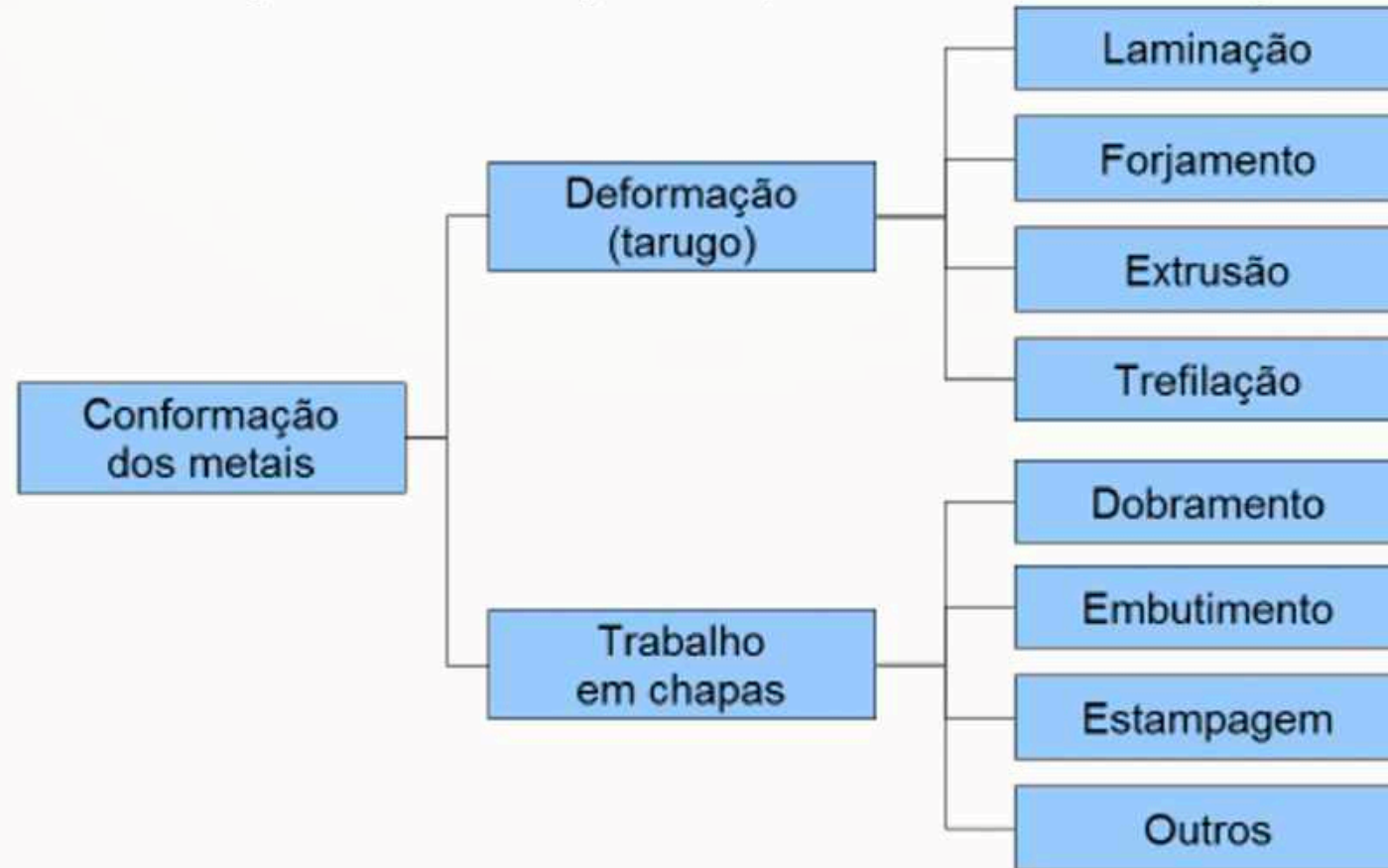


Carregamentos mecânicos, e seus respectivos sentido e direção, associados aos processos de conformação mecânica: (a-) laminação; (b-) forjamento. Simbologia: F = força aplicada para a conformação; v = velocidade de conformação. (BEDDOES; BIBBY, 1999)



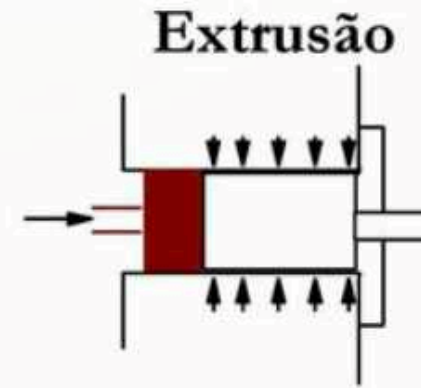
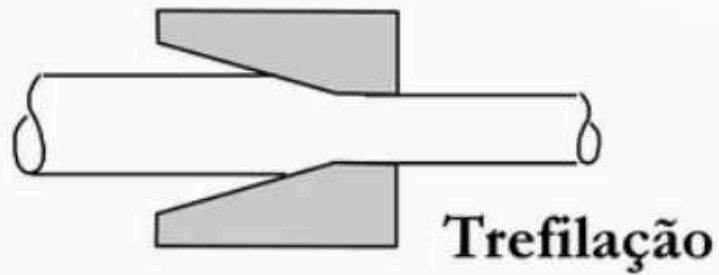
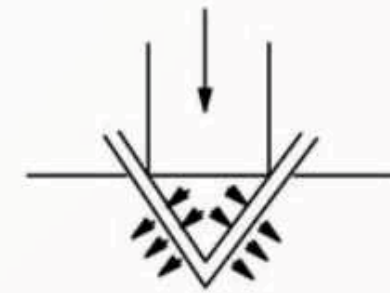
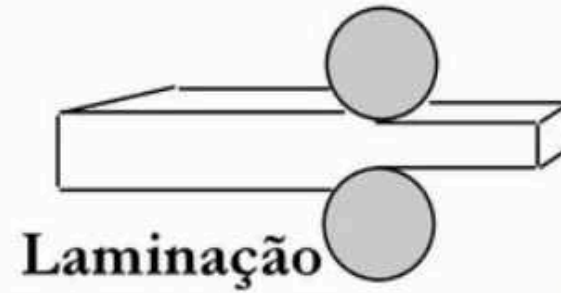
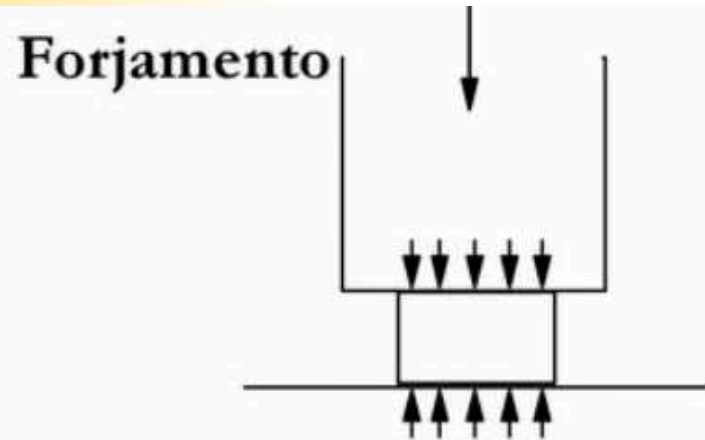
Processos de Conformação Mecânica

Introdução - Classificação dos processos de conformação

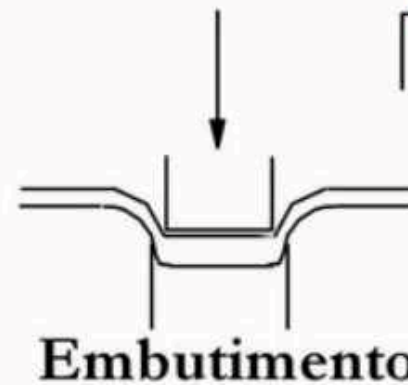




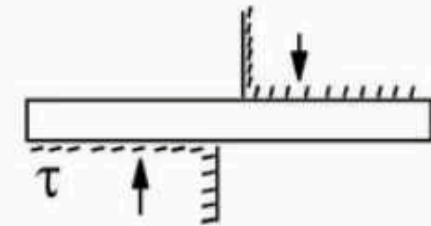
Processos de Conformação



Dobramento



Profundo(estampagem)



Cisalhamento



Deformação

Plasticidade dos materiais metálicos.

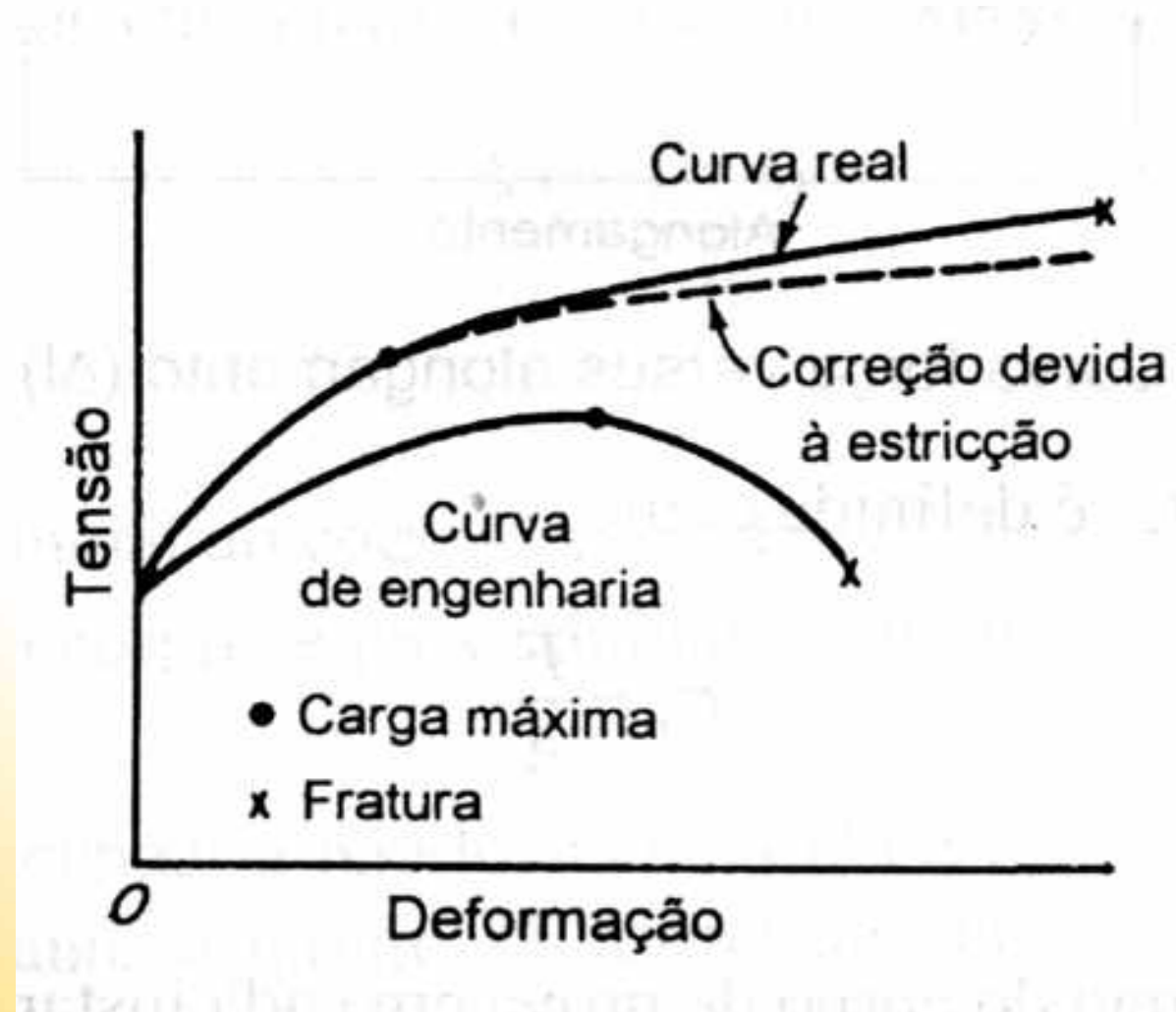
1. Na área de projeto usualmente associada à falha do material ou componente.
2. Na manufatura as deformações plásticas correspondem às deformações irreversíveis que ocorrem no material durante o processo de deformação, isto é, após um processo de conformação mecânica a deformação permanente que fica no material corresponde à deformação plástica. A importância da deformação plástica nos materiais metálicos está ligada principalmente com os processos de conformação mecânica tais como, laminação, extrusão, forjamento, estampagem e etc.



Variáveis mais significativas em um processo de conformação

Material

1. Curva tensão X deformação de engenharia e verdadeira





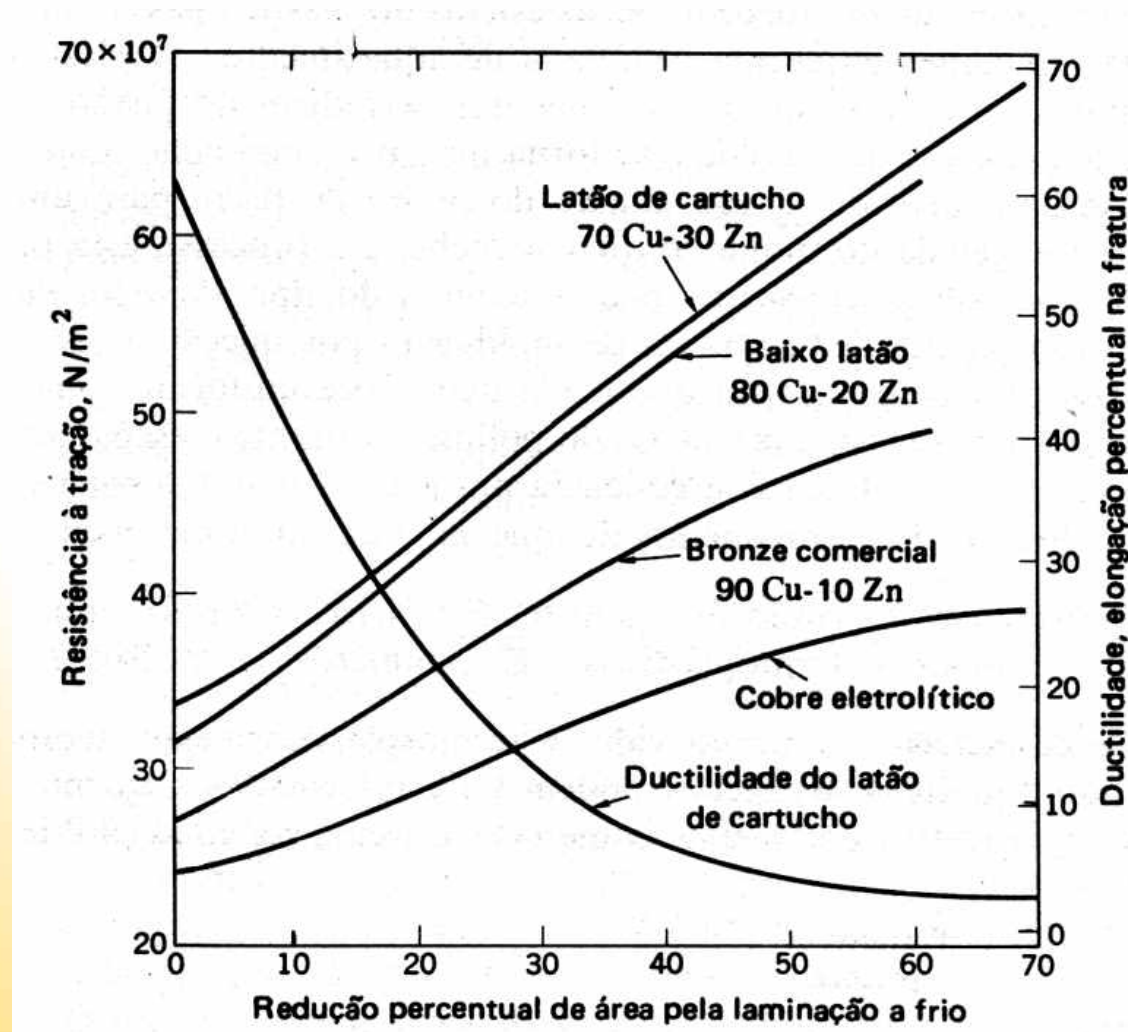
Curva tensão X Deformação

Limite de escoamento. O limite de escoamento é dado pela transição entre o regime elástico e o regime plástico. Influenciam no limite de escoamento: composição química, estrutura cristalina, grau de encruamento, temperatura, velocidade de deformação, estado de tensões.

Limite de resistência. O limite de resistência é um ponto de instabilidade mecânica. Até o limite de resistência a carga aplicada gera uma dada deformação e mantida a carga essa deformação não aumenta. Quando o limite de resistência é alcançado, mesmo mantida a carga a deformação continua. Fisicamente, o limite de resistência coincide com o aparecimento da estricção. Estricção é uma região onde ocorre concentração de deformação e a deformação deixa de ser uniforme. Quando ocorre estricção ocorre a formação de uma triaxialidade de tensões. Já que cada seção transversal estará submetida a uma tensão diferente. A estricção sempre aumenta, pois a redução de área na seção da área da estricção aumenta em uma taxa crescente e o encruamento aumenta em uma taxa decrescente (cada vez fica mais difícil de encruar o material).

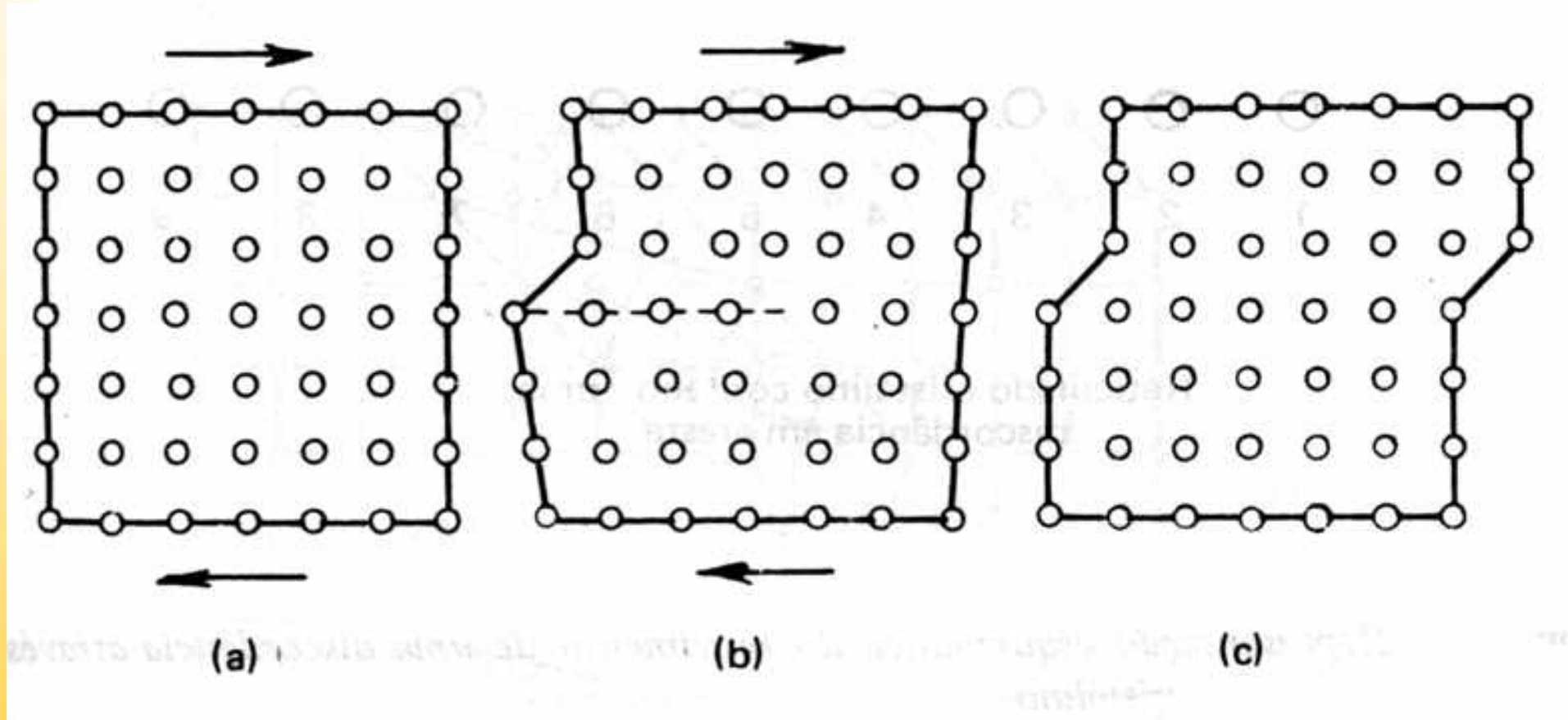


Aumento da resistência à tração e diminuição de ductilidade de chapas de cobre e ligas de cobre após **encruamento**.





A deformação plástica ocorre devido ao deslizamento de planos cristalinos. Esse deslocamento é favorecido pela presença de discordâncias.



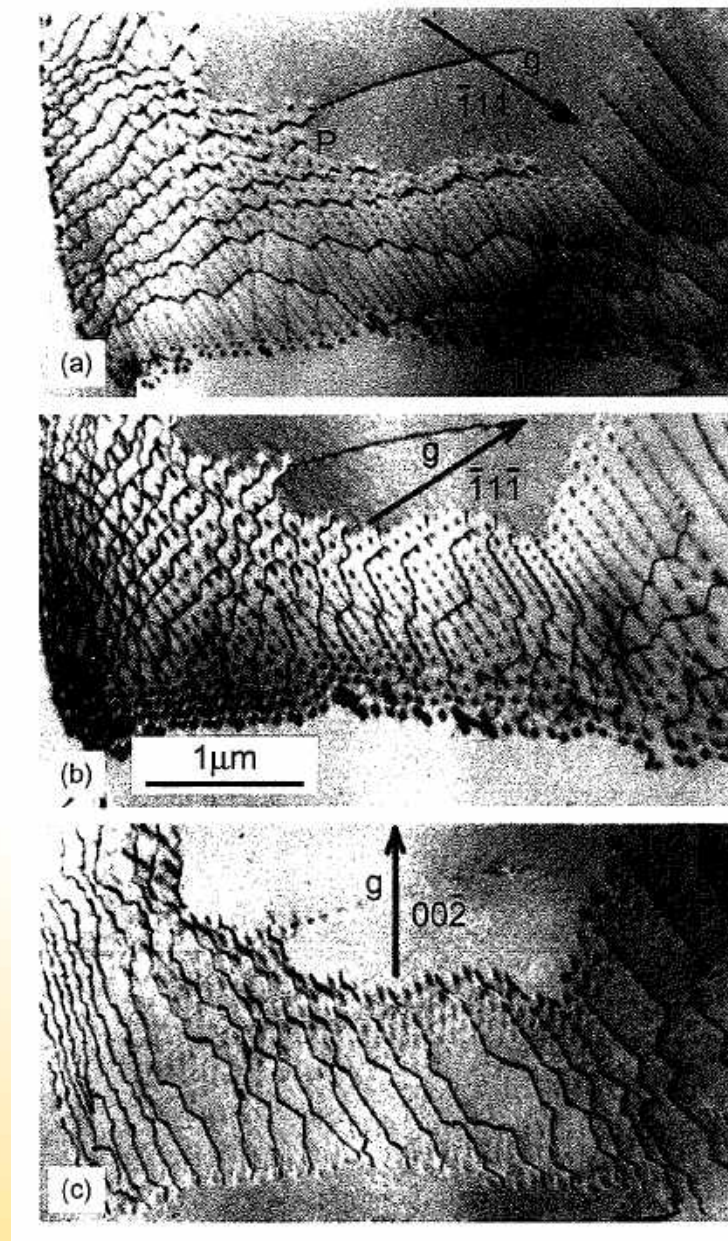


Illustration of the use of the $\mathbf{g} \cdot \mathbf{b} = 0$ method to determine the Burgers vector of dislocations in an Al–2% Mg alloy. (From Lindroos, *Phil. Mag.* 24, 709, 1971.)

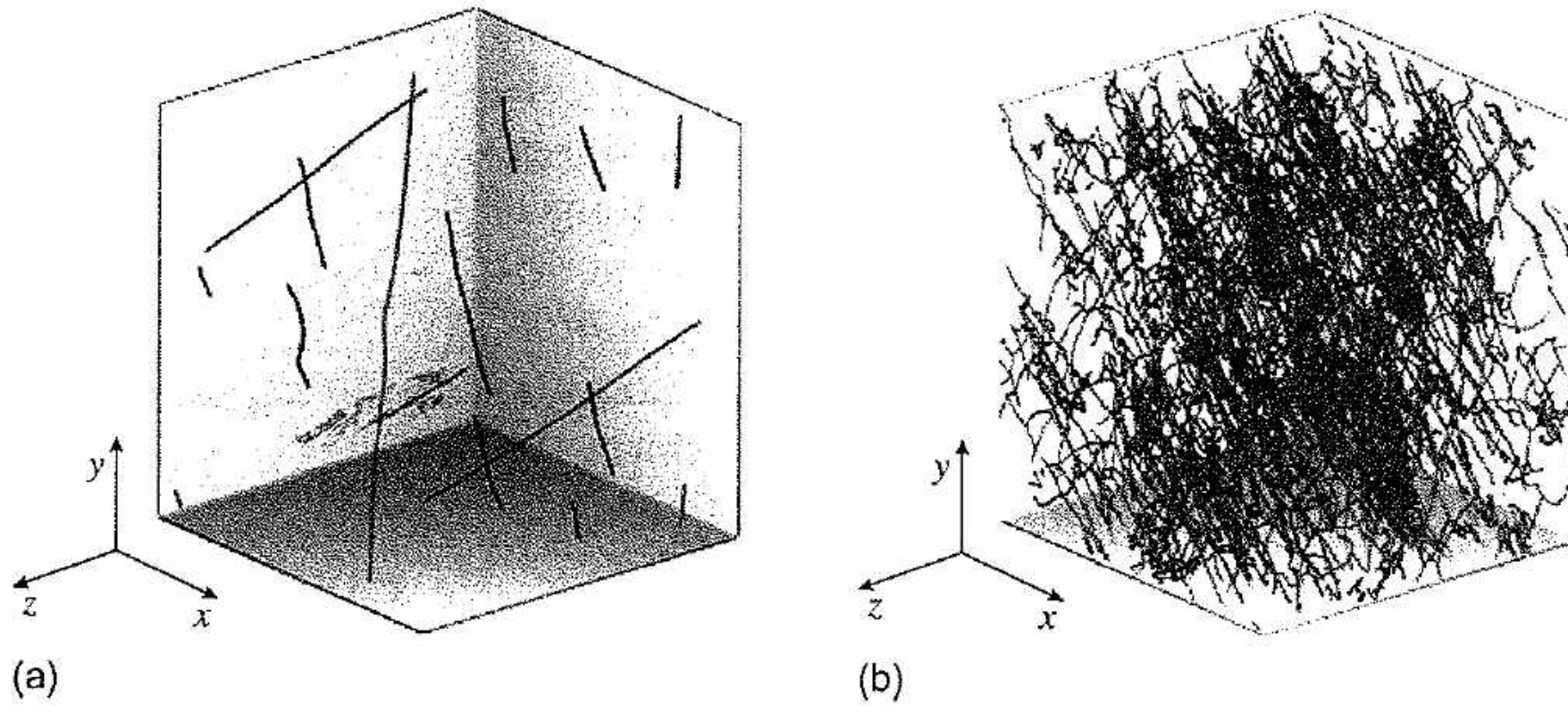
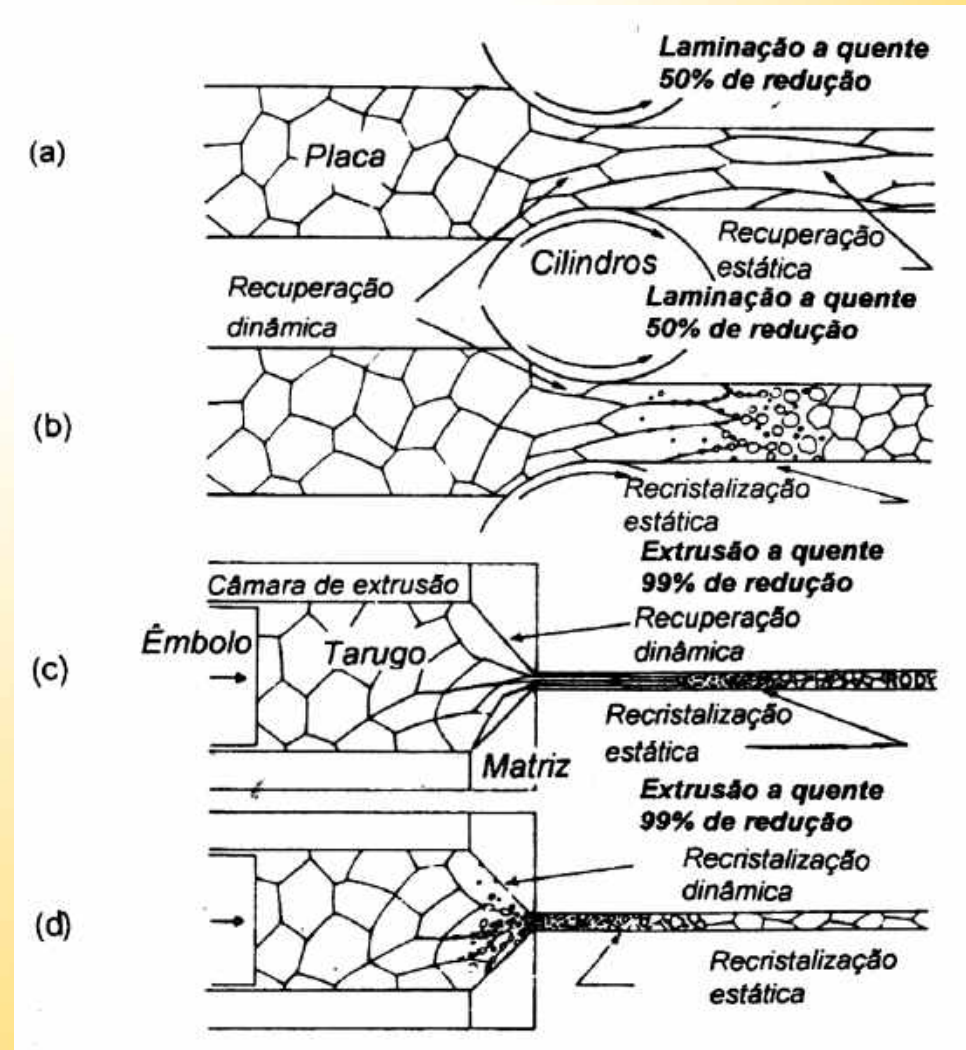


FIGURE 2.20

(a) Initial dislocation arrangement for the DD simulation of a molybdenum single crystal under applied uniaxial strain. (b) Dislocation microstructure when the strain reaches 0.3%. (From Bulatov and Cai (2006), *Computer Simulations of Dislocations*, Oxford University Press. With permission from Oxford University Press (www.oup.co.uk)).



Alteração na microestrutura





Um dos parâmetros mais importantes na conformação mecânica é a **Temperatura** .

Tendo em vista a temperatura de fusão do material, conformado mecanicamente, são as seguintes faixas de temperatura de operação (ou homóloga):

- a frio: peça conformada em temperaturas abaixo de 30% de sua temperatura de fusão;
- a morno: peça conformada em temperaturas entre 30% e 60% de sua temperatura de fusão;
- a quente: peça conformada em temperaturas acima de 60% de sua temperatura de fusão.



Comparação dos processos de fabricação por conformação, diferenciados conforme o parâmetro temperatura de operação. (RODRIGUES; MARTINS, 2010)

Trabalho de conformação	Vantagens	Desvantagens
A frio	<ul style="list-style-type: none"> - Ocorre o aumento da resistência mecânica e da dureza do material conformado - Outra vantagem consiste em minimizar ou eliminar as variações dimensionais e oxidação, resultando em acabamentos superficiais e tolerâncias dimensionais melhores 	<ul style="list-style-type: none"> - Em contrapartida dos trabalhos a morno e a quente, ocorre redução de ductilidade. - Pode ser favorecida a origem de fissuras limitando à geometria a ser fabricada a frio.



Comparação dos processos de fabricação por conformação, diferenciados conforme o parâmetro temperatura de operação. (RODRIGUES; MARTINS, 2010)

Trabalho de conformação	Vantagens	Desvantagens
A morno	<ul style="list-style-type: none"> - Em contrapartida ao trabalho a frio, as cargas para a deformação são menores. - Maior ductilidade do material, dispensando etapas de recozimento; - Em contrapartida ao trabalho a quente, obtém-se melhor acabamento superficial - redução da oxidação e precisão (tolerância) dimensional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Em contrapartida ao trabalho a quente, o limite de escoamento é maior.



Comparação dos processos de fabricação por conformação, diferenciados conforme o parâmetro temperatura de operação. (RODRIGUES; MARTINS, 2010)

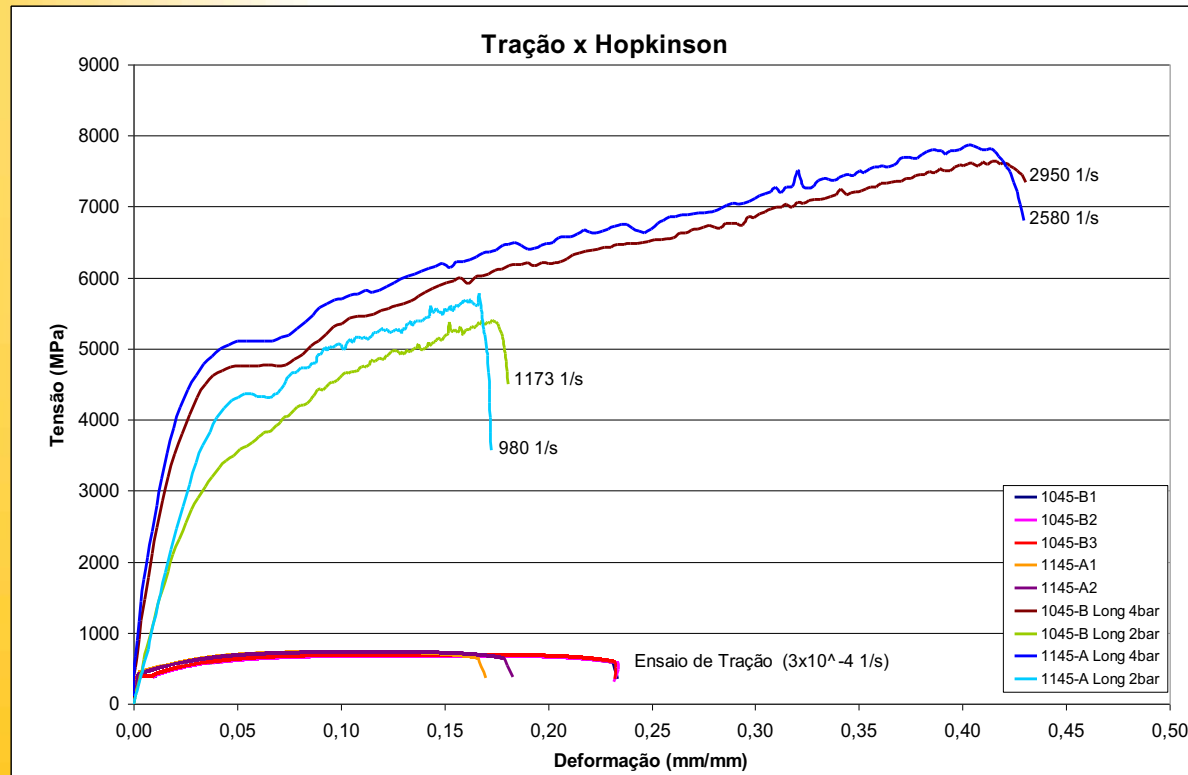
Trabalho de conformação	Vantagens	Desvantagens
A quente	<ul style="list-style-type: none"> - a deformação plástica a quente é facilitada (tensão de escoamento diminui) - Ocorre recristalização - a ductilidade é aumentada. 	<ul style="list-style-type: none"> - pode exigir a aplicação de fornos ou outros equipamentos de aquecimento. - O material trabalhado a quente, ao entrar em contato com o meio ambiente pode oxidar, ou ainda decarbonetação ; formação de carepa. - leva a um maior desgaste das ferramentas de conformação. - As tolerâncias dimensionais da peça são menos apertadas em decorrência do aquecimento. - a microestrutura é mais heterogênea no caso da peça trabalhada a quente do que no caso da peça trabalhada a frio e posteriormente recozida.



Variáveis mais significativas em um processo de conformação

Material

2. tensão de escoamento com função da deformação, taxa de deformação, temperatura e microestrutura (equações constitutivas, por exemplo Johnson)



$$\sigma = (\sigma_0 + K\varepsilon^n) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_0}\right) \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r}\right)^m\right]$$

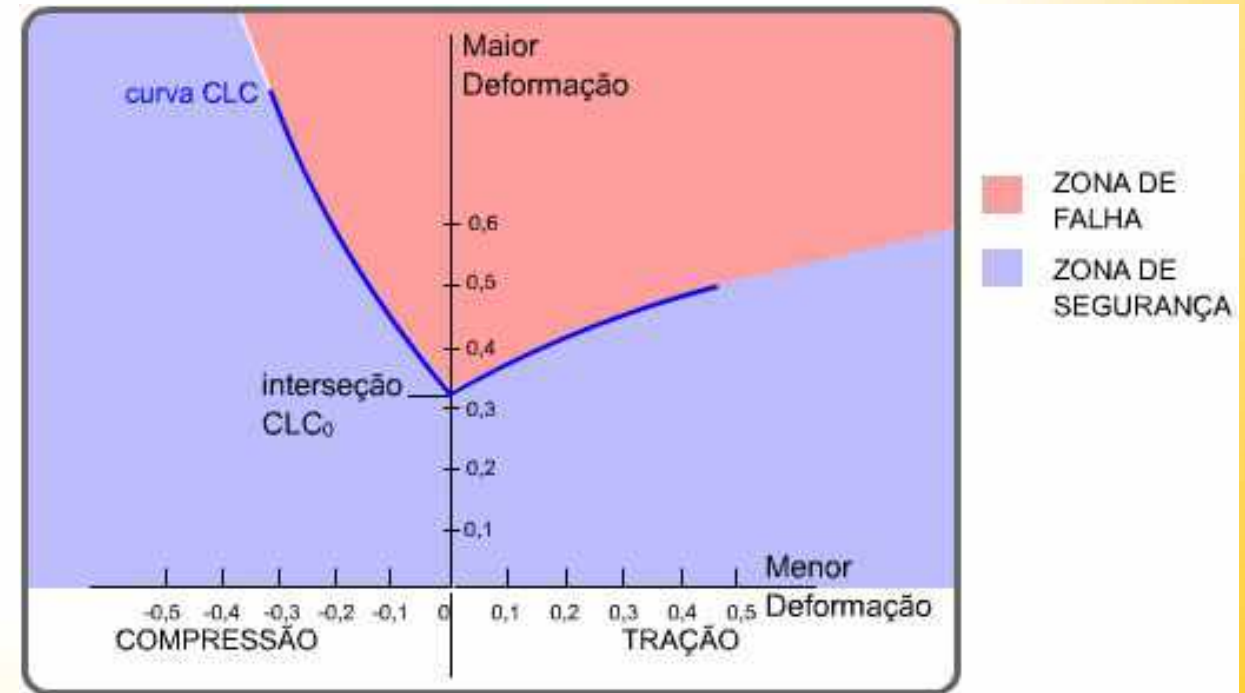
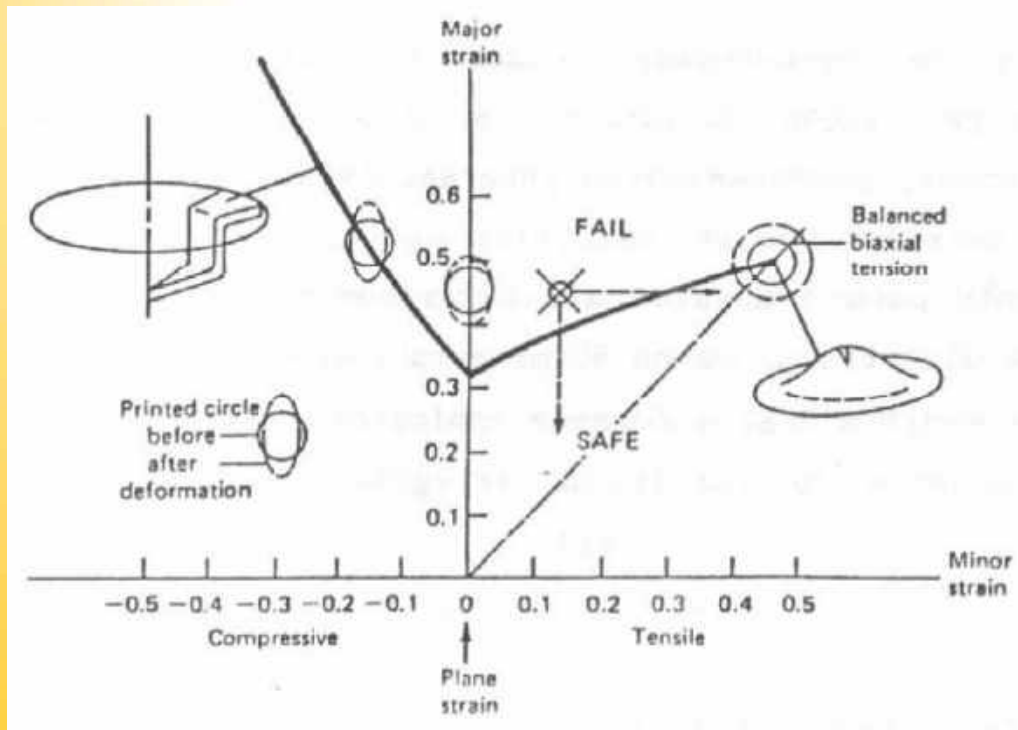
Comparação entre os ensaios de tração e barra de Hopkinson (GONZÁLEZ SANTOS, 2008)

Izabel Machado – machadoi@usp.br



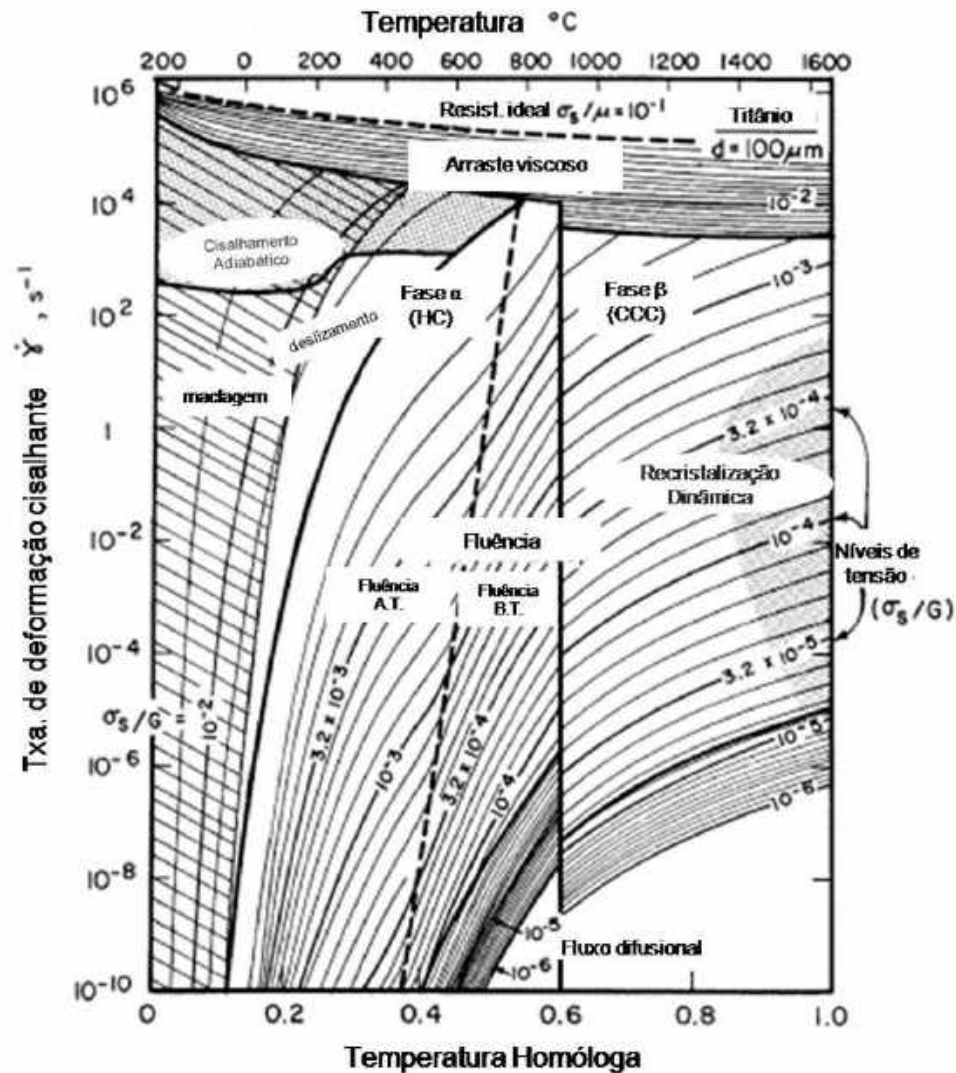
Variáveis mais significativas em um processo de conformação

3. Conformabilidade com função da deformação, taxa de deformação, temperatura e microestrutura (curvas limite de conformação)





Variáveis mais significativas em um processo de conformação



3. Conformabilidade com função da deformação, taxa de deformação, temperatura e microestrutura (curvas limite de conformação)



Variáveis mais significativas e, um processo de deformação

Material (cont.):

3. Condições Superficiais – Rugosidade
4. Propriedades físicas
5. Propriedades mecânicas e características dos materiais selecionados
6. Efeitos de alterações microestruturais (mecânicas) durante o processamento

Ferramental:

1. Geometria da ferramenta
2. Acabamento superficial (rugosidade)
3. Material e suas propriedades mecânicas (como dureza) decorrentes de tratamentos térmicos.
3. Temperatura
4. Rigidez e precisão



Variáveis mais significativas e, um processo de deformação

Condições na interface ferramenta peça:

1. Tipo de lubrificante e ferramentas de trabalho
2. Isolamento e características de refrigeração na interface peça-ferramenta
3. Coeficiente de atrito
4. Aplicação e remoção de lubrificante

Região de deformação:

1. Modelo de mecanismo de deformação
2. velocidade, deformação e taxa de deformação
3. Campo de tensões durante a deformação
4. Aumento de temperatura durante a deformação

Equipamento:

1. Velocidade (razão de produção)
2. Força – capacidade de conversão de energia
3. Rigidez e precisão



Condições na interface ferramenta peça:

Compressão

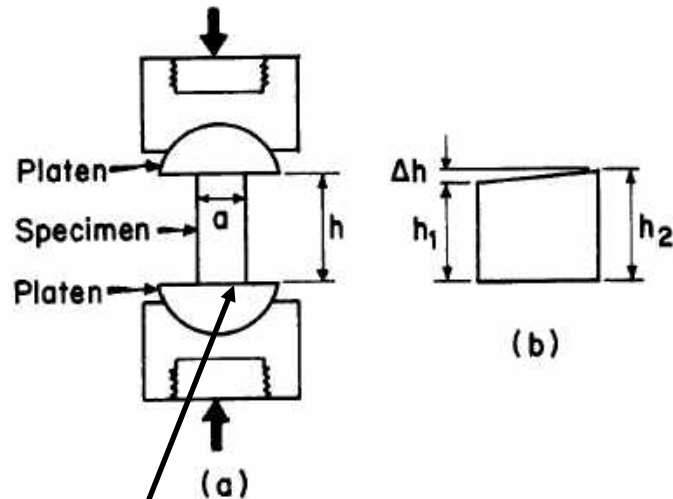
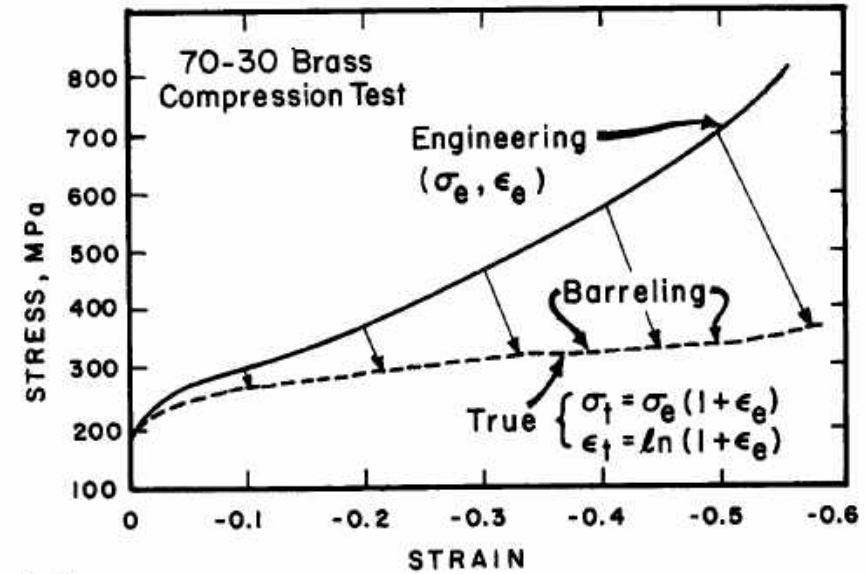
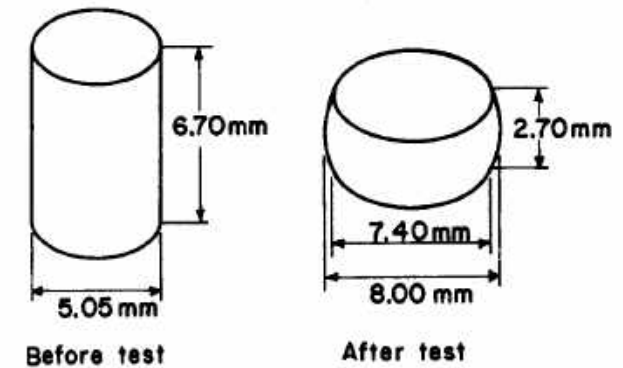


Figure 3.13 (a) Compression specimen between parallel platens. (b) Length inhomogeneity in specimen.

Importância da
lubrificação-
efeito do atrito



(a)



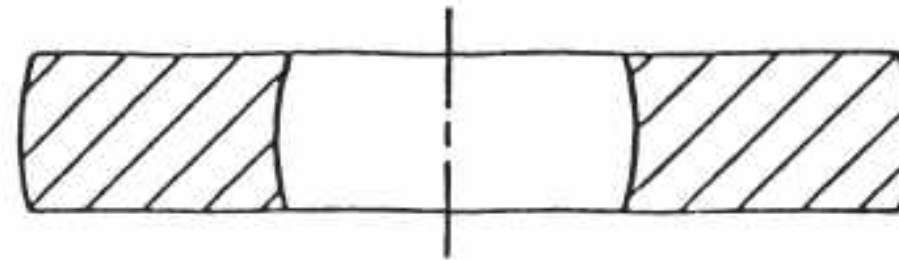
(b)

Figure 3.14 (a) Stress-strain (engineering and true) curves for 70-30 brass in compression. (b) Change of shape of specimen and barreling.

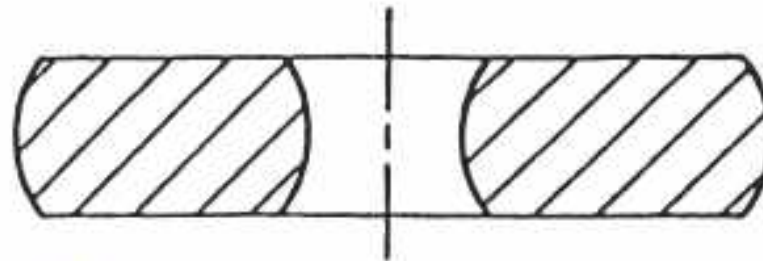


Ensaio do anel

Efeito do atrito sobre a deformação do material metálico no teste de compressão



Baixo atrito (boa lubrificação)

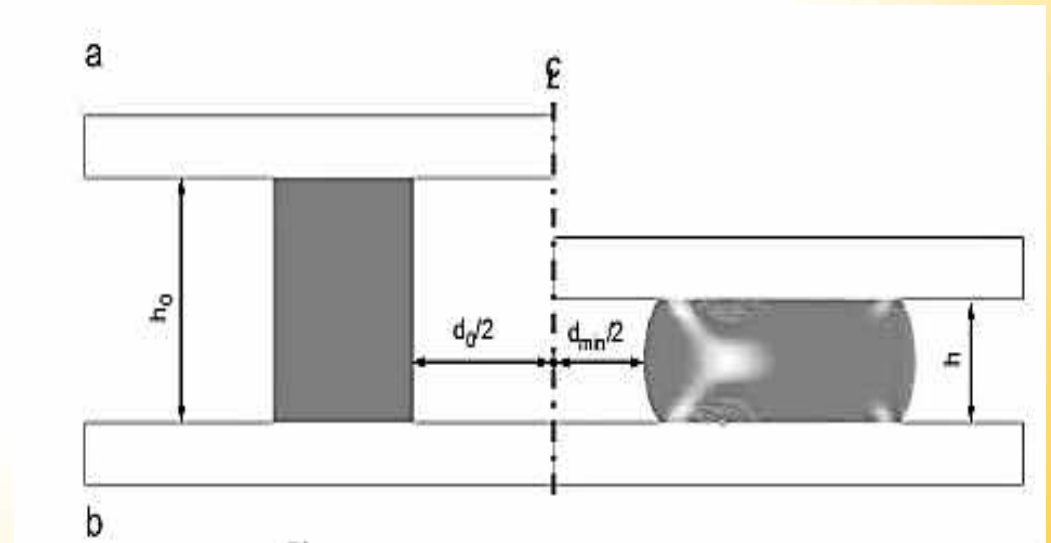
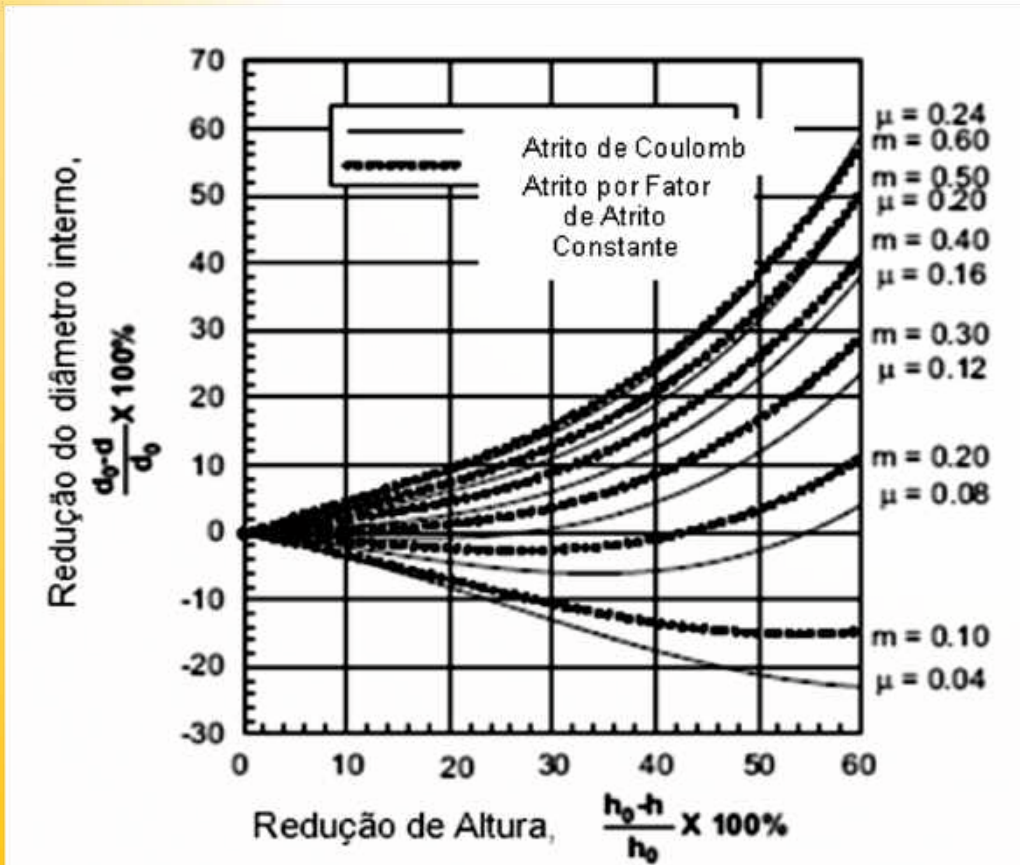


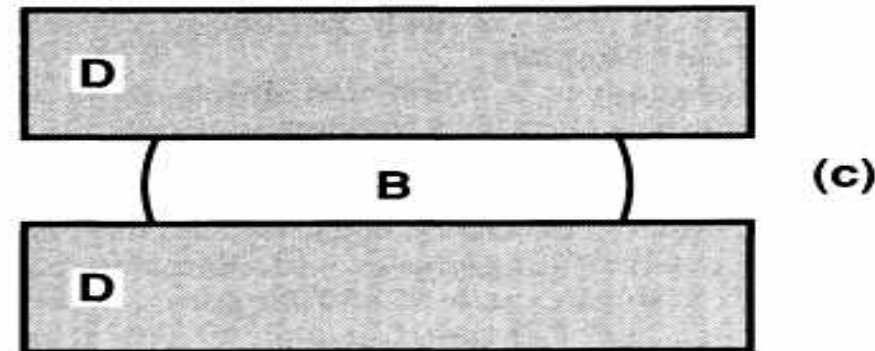
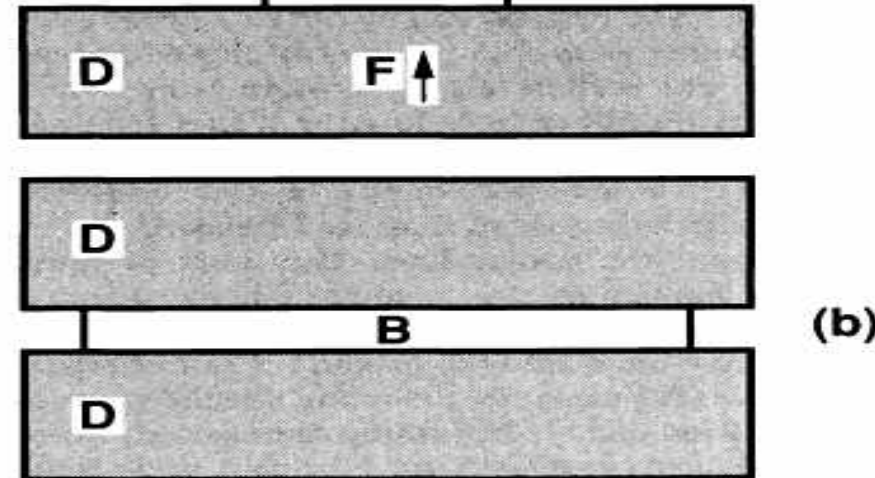
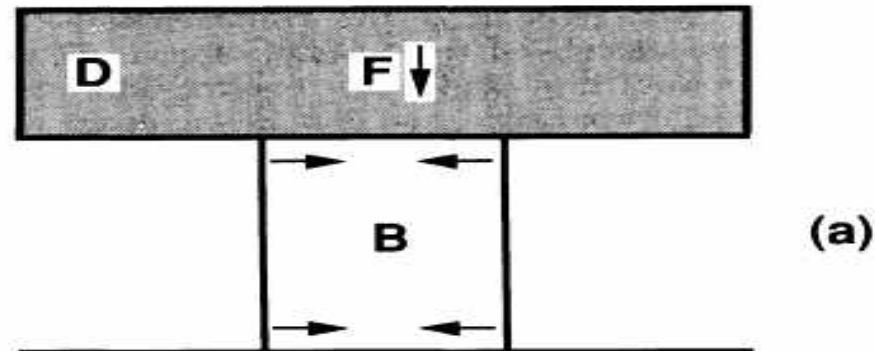
Alto atrito (pouca lubrificação)



Compressão

Curvas de calibração de atrito para uma peça, utilizada no ensaio de compressão do anel, a temperatura ambiente. Não obstante, reparam-se na parte direita da figura os fatores que contribuem para a construção das curvas como, por exemplo, as variações de altura e de diâmetro interno. Simbologia: d_0 = diâmetro externo inicial da peça; h_0 = altura inicial da peça; h = altura final da peça; $d_{\text{mín}}$ = diâmetro externo mínimo da peça; μ = coeficiente de atrito; e m = fator de atrito. (JOUN et al., 2009)





Operação de recalque: (a-) disposição de um tarugo entre duas matrizes; (b-) deformação da peça sem a presença de atrito na interface; (c-) deformação da peça com a presença de atrito na interface. Simbologia: D=matriz; B=tarugo; F= força aplicada. (ASM INTERNATIONAL, 1995)



Referências

1. PRINCIPIOS DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO UTILIZANDO METAIS E POLIMEROS

Autor	VALDEMIR MARTINS LIRA
Editora	EDGARD BLUCHER
ISBN	852121085X
Ano	2017

2. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwixttzxy6zrAhWPILkGHZd4B8MQFjAAegQIBhAB&url=http%3A%2F%2Fwww.fem.unicamp.br%2F~sergio1%2FCONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf&usg=AOvVaw2fr_tLtOp0-bdmM3oFHT9y

3. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwixttzxy6zrAhWPILkGHZd4B8MQFjABegQIBxAB&url=https%3A%2F%2Fedisciplinas.usp.br%2Fmod%2Fresource%2Fview.php%3Fid%3D2539471&usg=AOvVaw3pQbovJrLW1tqAQX-TySs7>



Sumário

- ❖ “Objetivo da conformação: mudança de forma, que tem efeito nas propriedades mecânicas
- ❖ Exemplos de processos de conformação
- ❖ Deformação e parâmetros que a influenciam
- ❖ Referências