

CONFORMAÇÃO PLÁSTICA

Tecnologia Metalúrgica
 Prof. José Luís L. Silveira
 Curso de graduação em Engenharia Mecânica
 UFRJ – Centro de Tecnologia – sala I-241

BIBLIOGRAFIA

- Livro Texto:
 - “Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos” (capítulo 3)
 - autores:
 - Claudio Shyinti Kiminami,
 - Walman Benício de Castro e
 - Marcelo Falcão de Oliveira;
 - Editora Edgard Blücher, 1ª edição, 2013.

BIBLIOGRAFIA

- Bibliografia suplementar:
 - “Introdução aos Processos de Fabricação” (capítulo 12, parte do 13 e 14)
 - autor:
 - Mikell P. Groover
 - Editora LTC, 1ª edição, 2014.

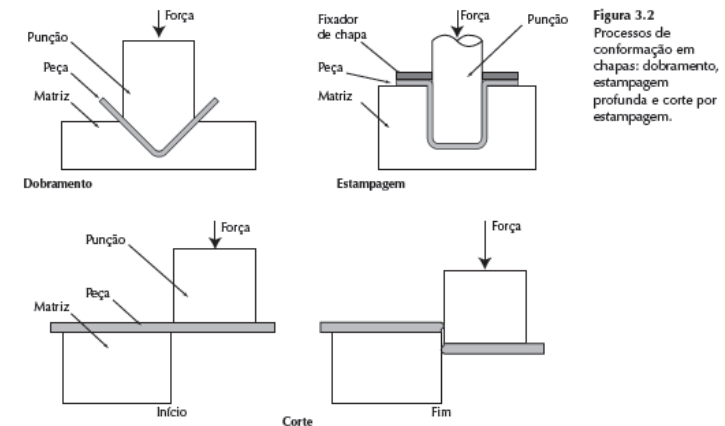
CONFORMAÇÃO PLÁSTICA

- Modifica a forma do material por meio de uma deformação permanente (**deformação plástica**).
- Em geral, se utiliza uma ferramenta, que aplica tensões que excedem o limite de escoamento do material.

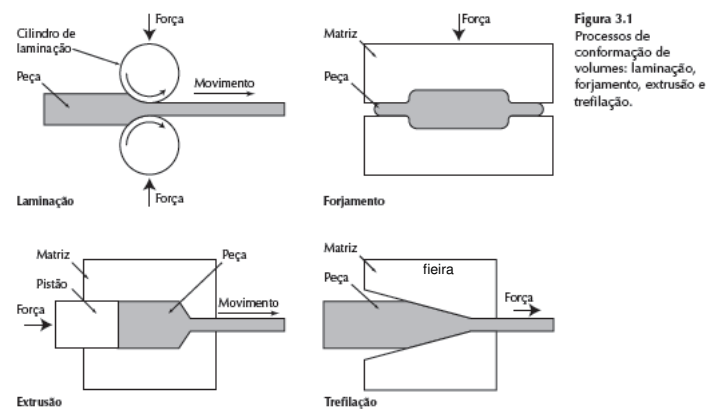
CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO PLÁSTICA

- Os processos de conformação podem ser classificados em:
 - Processos de conformação de volumes** – onde a razão entre a área superficial e o volume é pequena.
 - Processos de conformação de chapas** – quando a razão entre a área superficial e o volume é grande.
- A conformação de volumes pode ser realizada a frio, ou a quente.
- A conformação de chapas normalmente é realizada a frio e utiliza ferramentas, ou matrizes, compostas por punção e matriz propriamente dita.

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

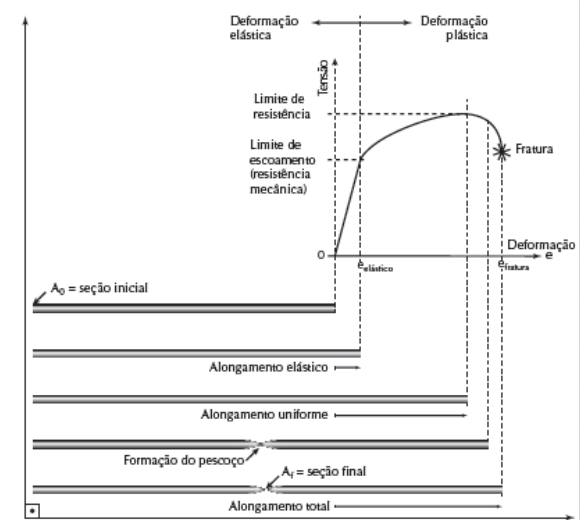


PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO DE VOLUMES



DEFORMAÇÃO PLÁSTICA – ENSAIO DE TRAÇÃO

Figura 3.3 Estágios de um ensaio de tração de uma liga metálica dútil.



DEFORMAÇÃO PLÁSTICA – ENSAIO DE TRAÇÃO

- Após um estágio inicial de deformação elástica, a tensão de tração atinge um nível a partir do qual o material passa a se deformar plasticamente.
- A tensão que separa esses dois tipos de comportamento é denominada **tensão de escoamento**.
- A **ductilidade** de um material indica o grau de deformação possível de ser atingido antes da ruptura.

DEFORMAÇÃO VERDADEIRA (GROOVER – SEÇÃO 3.1, PÁGINA 53)

- Para descrever a deformação em um processo de conformação, frequentemente é utilizada a deformação verdadeira, que é obtida a partir da expressão:

$$\varepsilon = \int_{l_i}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_i}$$

- l_i é o comprimento inicial da barra e
- dl é um alongamento infinitesimal.

DEFORMAÇÃO PLÁSTICA – ENSAIO DE TRAÇÃO

- Na região plástica, o comportamento do metal pode ser descrito

$$S_e = S_o \varepsilon^n$$

- S_e é o limite de escoamento do material.
- S_o e n são constantes que variam com o material.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO LIMITE DE ESCOAMENTO E NA DUCTILIDADE

- O aumento da temperatura reduz o limite de escoamento e aumenta a ductilidade.

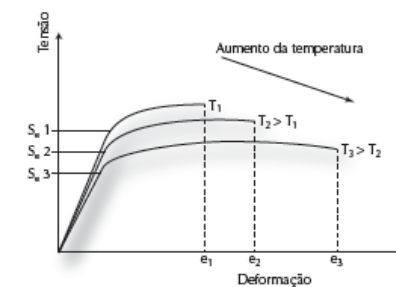


Figura 3.4
Influência do aumento da temperatura no limite de escoamento e ductilidade da liga metálica.
(T = temperatura; e = alongamento; S_e = limite de escoamento.)

$$S_e = \bar{S}_o T^m$$

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO MATERIAL

- O aumento da temperatura reduz o limite de escoamento e aumenta a ductilidade.

$$S_e = \bar{S}_o T^m$$

- Em temperaturas elevadas pode ocorrer a “recuperação dinâmica” devido ao aumento da difusão atômica e dos movimentos de discordâncias.
- A **recuperação** acontece em temperaturas abaixo da temperatura de recristalização. Ocorre o alívio de tensões e uma pequena redução na dureza e na resistência mecânica.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO MATERIAL

- Na temperatura ambiente a deformação plástica provoca a deformação permanente dos grãos cristalinos, o aumento na resistência mecânica e um decréscimo na ductilidade.

- O aumento na tensão de escoamento é denominado **encruamento**.

$$S_e = S_o \varepsilon^n$$

- As propriedades do metal podem retornar aos níveis originais pelo aquecimento em um tratamento térmico denominado **recozimento**.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO MATERIAL

- No recozimento normalmente ocorrem três etapas:
 - a **recuperação**,
 - a **recristalização** e
 - o **crescimento de grão** (equação de Hall-Petch)
- Na **recristalização** os grãos deformados dão lugar a grãos equiaxiais. Há um decréscimo na resistência mecânica e um aumento na ductilidade.
- A **temperatura de recristalização** é definida como a temperatura na qual a recristalização leva 1 hora para se completar e será menor quanto maior for o grau de

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NAS PROPRIEDADES DO MATERIAL

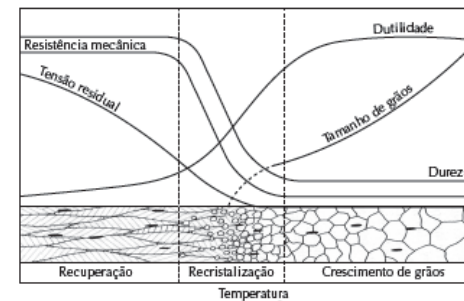


Figura 3.6 Ilustração esquemática do efeito da recuperação, recristalização e crescimento de grão nas propriedades mecânicas e na forma e tamanho dos grãos.

CRESCIMENTO DE GRÃO EQUAÇÃO DE HALL-PETCH

- A equação de Hall-Petch relaciona o limite de escoamento do material ao tamanho do grão cristalino.

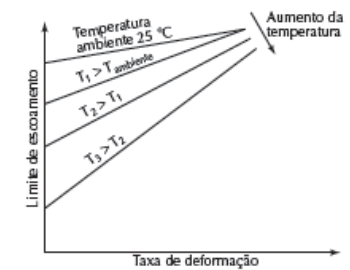
$$\sigma_Y = \sigma_{Y\infty} + \frac{k_Y}{\sqrt{d}}$$

- onde d é o diâmetro médio do grão;
- σ_Y é a tensão de escoamento e
- $\sigma_{Y\infty}$ e k_Y são parâmetros do material.

INFLUÊNCIA DA TAXA DE DEFORMAÇÃO E DA TEMPERATURA NO LIMITE DE ESCOAMENTO

- O aumento da taxa de deformação aumenta o limite de escoamento. Esse efeito é mais acentuado em temperaturas elevadas.

Figura 3.5
Influência do aumento da taxa de deformação no limite de escoamento de um metal dútil.

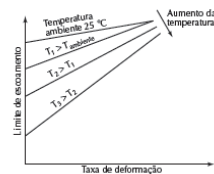


$$\sigma_e = \sigma_o \dot{\epsilon}^p T^m$$

INFLUÊNCIA DA TAXA DE DEFORMAÇÃO NO LIMITE DE ESCOAMENTO

- O aumento da taxa de deformação aumenta o limite de escoamento.
- Em taxas de deformação elevadas o tempo disponível para a “recuperação dinâmica” é menor, o que resulta em um aumento na densidade de discordâncias.
- À temperatura ambiente não ocorre a recuperação dinâmica e a taxa de deformação afeta pouco o limite de escoamento.

Figura 3.5
Influência do aumento da taxa de deformação no limite de escoamento de um metal dútil.



PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO CLASSIFICAÇÃO QUANTO A TEMPERATURA

- Os processos de conformação podem ser classificados de acordo com a temperatura em que são realizados e para tal se utiliza a **temperatura de fusão** T_m em **escala absoluta** (K):
 - Conformação a quente – realizada em temperaturas superiores a $0,6 T_m$
 - Conformação a morno – realizada em temperaturas entre $0,3$ e $0,6 T_m$
 - Conformação a frio – realizada em temperaturas inferiores a $0,3 T_m$

PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO CLASSIFICAÇÃO QUANTO A TEMPERATURA

- Na conformação a frio são necessários tratamentos intermediários de recozimento para a recuperação da ductilidade e permitir novas etapas de deformação.
- Na conformação a morno não ocorre recristalização, pois é realizada em uma temperatura abaixo da temperatura de recristalização, mas ocorre a recuperação dinâmica.
- A conformação a quente é realizada a uma temperatura acima da temperatura de recristalização e ocorre a recristalização dinâmica.

CONFORMAÇÃO A QUENTE

- Na **conformação a quente** a deformação plástica é realizada acima da temperatura de recristalização.
- Considera-se trabalho **a quente** a deformação realizada acima de 60% da temperatura de fusão em escala absoluta.

Figura 3.7
Ilustração esquemática das mudanças na morfologia e no tamanho dos grãos do metal durante a laminação a quente.



CONFORMAÇÃO A FRIO

- A conformação a frio apresenta:
 - uma boa precisão dimensional devido a ausência de contração causada pelo resfriamento;
 - um bom acabamento superficial devido a ausência de oxidação;
 - o aumento da resistência mecânica e da dureza;
 - a necessidade de maior potência para deformar o material.
 - a exigência de tratamento térmico intermediário para realizar novas etapas de deformação.

CONFORMAÇÃO A QUENTE

- A conformação a quente apresenta:
 - menor necessidade de potência para deformar o material;
 - um maior desgaste dos equipamentos e ferramentas devido a temperatura;
 - uma precisão dimensional baixa devido a contração térmica;
 - um pior acabamento superficial devido a ocorrência de oxidação;
 - a presença de recristalização dinâmica;
 - maior consumo de energia.

CONFORMAÇÃO A MORNO

- A conformação a morno procura aliar as vantagens da conformação a frio e a quente, e ocorre:
 - a recuperação dinâmica e o alívio das tensões,
 - uma menor oxidação em comparação a conformação a quente,
 - melhor precisão dimensional e
 - bom acabamento superficial.

TEMPERATURA HOMÓLOGA

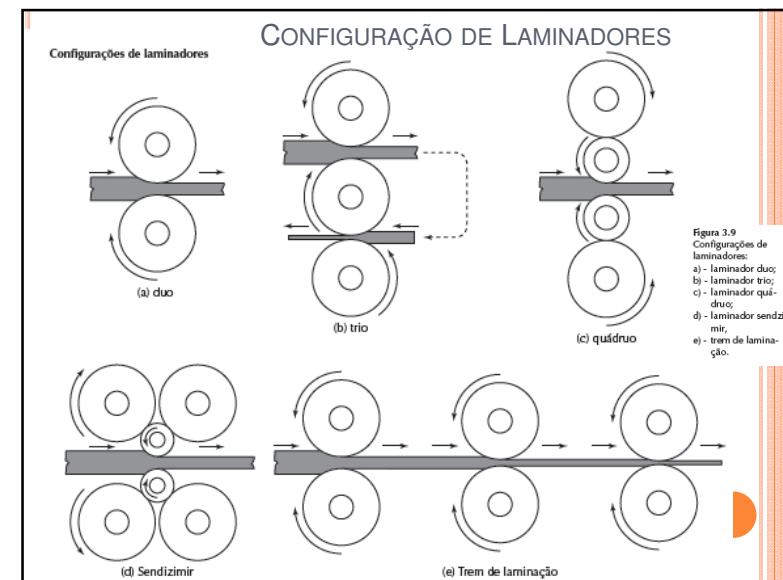
- É definida pela razão entre a temperatura de trabalho T_w e a temperatura de fusão T_f do material.

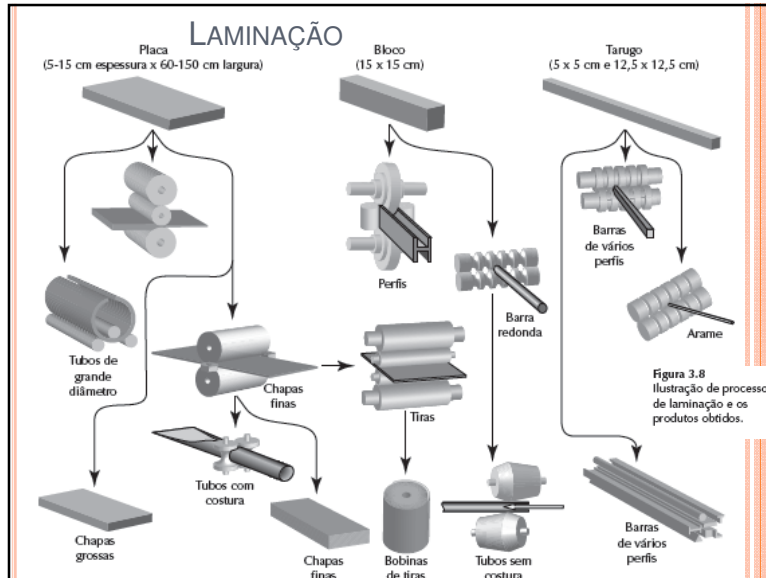
$$T_h = \frac{T_w}{T_f}$$

- A conformação a quente é realizada em temperaturas superiores a $0,5 T_h$
- A conformação a frio é realizada em temperaturas inferiores a $0,5 T_h$

LAMINAÇÃO

- A mudança na seção transversal do material ocorre pela passagem entre dois cilindros.
- O material é submetido a tensões compressivas elevadas.
- As forças de atrito são responsáveis pela tração do material para a região entre os cilindros.
- Na laminação de chapas finas, o uso de cilindros de pequeno diâmetro exige o uso de configurações que permitam evitar a deflexão dos rolos laminadores.





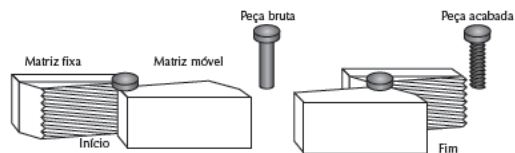
LAMINAÇÃO

- Em geral, nos processos siderúrgicos, as primeiras etapas são realizadas a quente.
 - O interior permanece por mais tempo a uma temperatura elevada e pode ocorrer o crescimento de grão.
 - As camadas superficiais sofrem maior deformação e apresentam grãos cristalinos menores.

LAMINAÇÃO DE ROSCAS

- A laminação de roscas apresenta:
 - alta resistência mecânica devido ao encruamento pela deformação plástica a frio;
 - tensões residuais compressivas, o que melhora a resistência a fadiga;
 - bom acabamento superficial, porém menor precisão dimensional em relação a usinagem.

Figura 3.11 Laminação de roscas com pentes tangenciais planos.



PROCESSO MANNESMANN

- É um processo de conformação a quente que foi desenvolvido na Alemanha em 1885 pelos irmãos Mannesmann para produzir tubos "sem costura".

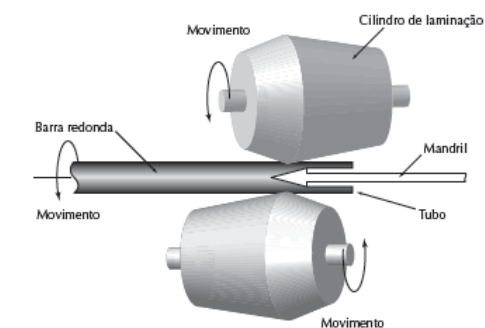


Figura 3.10 Processo de laminação de tubos sem costura.

PROCESSO MANNESMANN

- Consiste na passagem de uma barra maciça entre dois rolos com conicidade dupla. Os rolos possuem uma inclinação em relação ao eixo da barra e produzem uma torção e o avanço da barra.

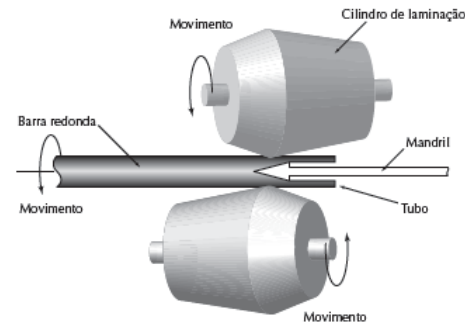
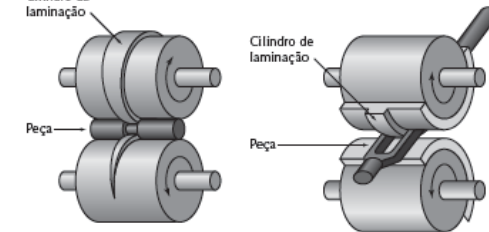


Figura 3.10
Processo de laminação
de tubos sem costura.

LAMINAÇÃO TRANSVERSAL

- Consiste na passagem do material através de um conjunto de rolos com entalhes correspondentes a forma que se deseja produzir.

Figura 3.12
Ilustração de
laminação
transversal.



LAMINAÇÃO TRANSVERSAL

- O fluxo plástico ocorre na direção do eixo do rolo de laminação.

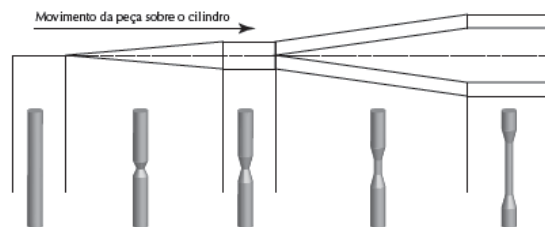


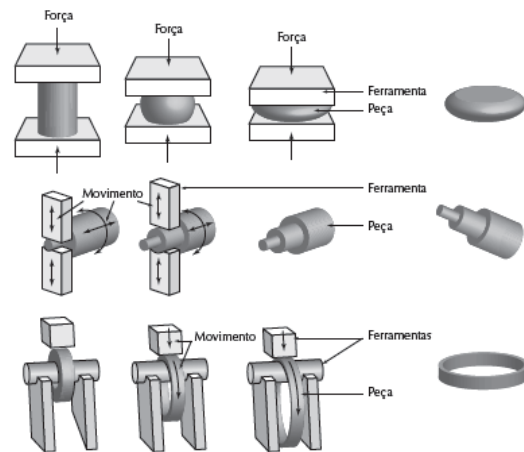
Figura 3.13
Vista planificada
da superfície do
cilindro de laminação
transversal e as
mudanças promovidas
na peça.

FORJAMENTO

- É uma operação de conformação mecânica realizada por meio do esforço de compressão aplicado pela superfície de uma ferramenta, denominada matriz.
- Pode ser dividido em dois tipos:
 - Forjamento em matriz aberta, ou forjamento livre
 - Forjamento em matriz fechada

FORJAMENTO LIVRE

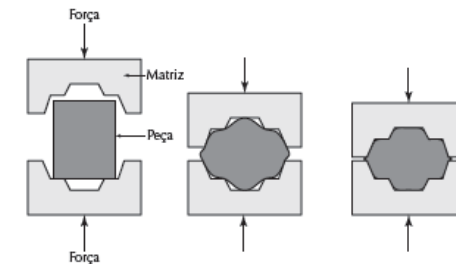
Figura 3.14
Ilustrações de
algumas operações de
forjamento livre.



FORJAMENTO EM MATRIZ FECHADA

- A deformação ocorre dentro da cavidade de uma matriz.
- Em geral é utilizado um excesso de material para garantir o preenchimento completo matriz e que forma uma rebarba.

Figura 3.15
Ilustração do
forjamento em matriz
fechada.



FORJAMENTO EM MATRIZ FECHADA

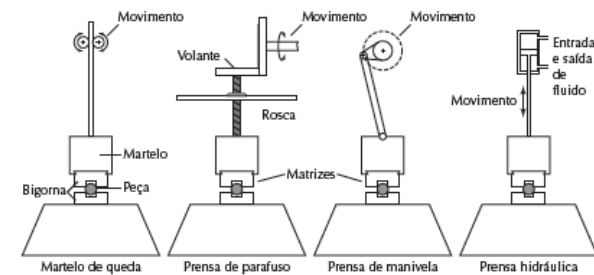


Figura 3.16
Etapas de forjamento
em matriz para
fabricação de uma
biela. Comprimento
da biela: ≈ 20 cm.

FORJAMENTO – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

- Os equipamentos utilizados podem ser divididos em **martelos de forja**, nos quais a energia cinética do martelo é dissipada na deformação, e **pressas**, que aplicam uma compressão contínua no material com uma velocidade mais baixa.

Figura 3.17
Ilustração
esquemática de alguns
equipamentos de
forjamento.



OPERAÇÃO DE RECALQUE OU FORJAMENTO POR COMPRESSÃO AXIAL

- Recalque em matriz aberta.



Figura 3.18
Ilustração da operação de recalque em matriz aberta formando a cabeça de um prego.

- Recalque em matriz fechada

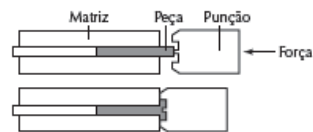


Figura 3.19
Ilustração de operação de recalque em matriz fechada formando a cabeça de um parafuso.

FORJAMENTO ROTATIVO

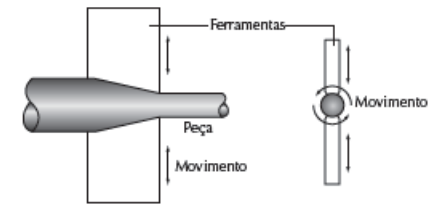


Figura 3.20
Processo de forjamento rotativo.

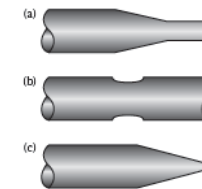


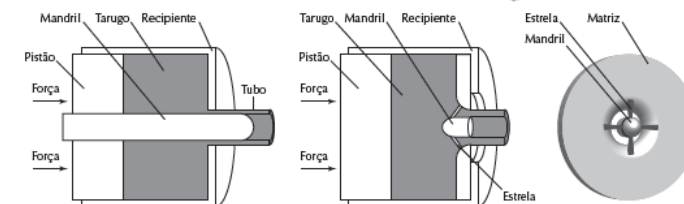
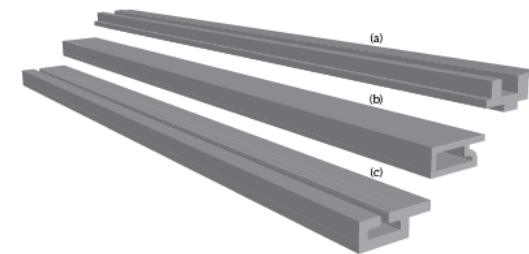
Figura 3.21
Ilustração de formas e produtos processados usando forjamento rotativo.

PROCESSO DE EXTRUSÃO

- É um processo de conformação por compressão em que o material é forçado a fluir por um orifício com um formato que é reproduzido na seção transversal do material.
- A seção transversal do produto extrudado é constante e pode ser classificado em:
 - Perfil sólido
 - Perfil tubular
 - Perfil semitubular

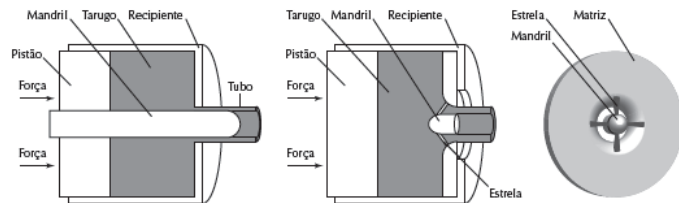
PROCESSO DE EXTRUSÃO

Figura 3.22
Classificação dos perfis extrudados:
(a) perfil sólido;
(b) perfil tubular;
(c) perfil semitubular.



EXTRUSÃO DE PERFIS TUBULARES

- Na extrusão de perfis tubulares podem ser utilizadas duas alternativas:
 - Um mandril interno que se move com o pistão ou independentemente.
 - Uma matriz do tipo estrela.



TIPOS DE EXTRUSÃO – DIRETA E INDIRETA

- A extrusão pode ser **direta**, quando o material é forçado a se deslocar por um pistão, ou **indireta**, quando apenas a parte próxima a saída da matriz se desloca.

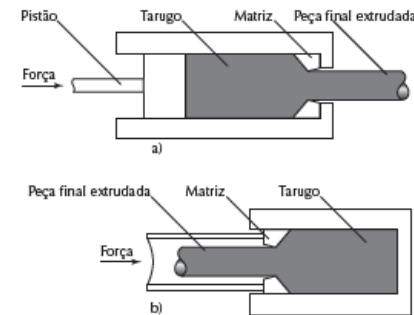
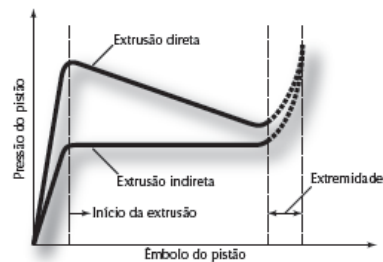


Figura 3.24
Ilustração da extrusão
direta (a) e indireta (b).

TIPOS DE EXTRUSÃO – DIRETA E INDIRETA VARIAÇÃO DA PRESSÃO DE EXTRUSÃO

- A extrusão **indireta** exige menor esforço, pois não há deslocamento entre o tarugo e a câmara de extrusão o que reduz o atrito.

Figura 3.26
Curvas típicas de
pressão de extrusão
contra o percurso
do êmbolo para a
extrusão direta e
indireta.



TIPOS DE EXTRUSÃO EXTRUSÃO HIDROSTÁTICA

- A extrusão **hidrostática**, utiliza um fluido para transmitir uma compressão ao material que é forçado a passar pelo orifício da matriz, mas nesse caso **não há atrito entre o material e a câmara**.

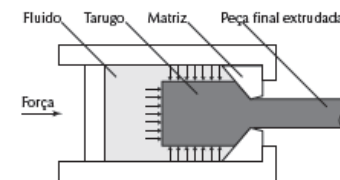


Figura 3.25
Ilustração da extrusão
hidrostática.

RAZÃO DE EXTRUSÃO

- É a razão entre a área inicial da seção transversal do tarugo e a área final da seção transversal, após a extrusão:

$$R_e = \frac{A_i}{A_f}$$

TEMPERATURA DE EXTRUSÃO

- Em geral a operação de extrusão é realizada a quente, a uma temperatura inferior a temperatura de fusão.

VELOCIDADE DE EXTRUSÃO

- Quanto mais alta a velocidade de extrusão, maior será a taxa de deformação do material e o calor produzido pelo atrito e pela deformação plástica.
- O tempo disponível para a dissipação do calor gerado será menor, o que limita a temperatura de extrusão para evitar que ocorra a fusão do material.

ATRITO

- O atrito aumenta a pressão necessária para realizar a extrusão.
- Na ausência de atrito a deformação é aproximadamente homogênea.

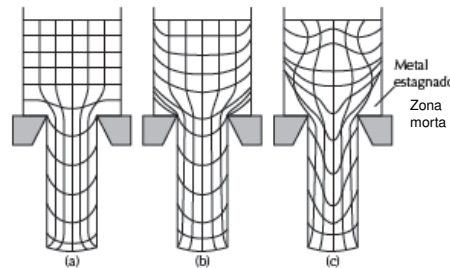


Figura 3.27 Modelos de deformação do metal na extrusão. a) baixo atrito; b) atrito moderado; c) alto atrito.

ESTADO DE TENSÃO NA EXTRUSÃO DIRETA

- Para o processo de extrusão direta, as tensões na direção axial (σ_x) podem ser estimadas pela seguinte expressão:

$$p_e = \sigma_e \frac{1 + \mu \cotg \alpha}{\mu \cotg \alpha} \left[\left(\frac{D_i}{D_f} \right)^{2\mu \cotg \alpha} - 1 \right]$$

- μ é o coeficiente de atrito, α é o ângulo da matriz.
- D_f é o diâmetro final, D_i é o diâmetro inicial.

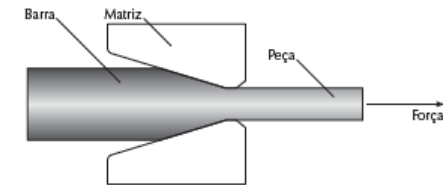
EXTRUSÃO – EQUIPAMENTOS

- O equipamento básico para a operação de extrusão é a **prensa hidráulica (horizontal)**, pois permite controlar a velocidade de extrusão, com a aplicação de uma carga constante por um longo curso.
- Podem ser usadas **pressas hidráulicas verticais**, que ocupam menor espaço e em geral são utilizadas para operações a frio.
- As **pressas excêntricas** também são utilizadas para a extrusão a frio de pequenos componentes.

TREFILAÇÃO OU ESTIRAMENTO

- O material é forçado a passar através de uma matriz, denominada feira, por meio de uma carga de tração.
- O estado triaxial de tensões no interior da feira é responsável pela deformação plástica.

Figura 3.28
Desenho esquemático
do processo de
trefilação.



ESTADO DE TENSÃO NA TREFILAÇÃO

- Para o processo de trefilação, as tensões na direção axial (σ_x) podem ser estimadas pela seguinte expressão:

$$\sigma_f = \sigma_e \frac{1 + \mu \cotg \alpha}{\mu \cotg \alpha} \left[1 - \left(\frac{D_f}{D_i} \right)^{2\mu \cotg \alpha} \right]$$

- μ é o coeficiente de atrito, α é o semi-ângulo da feira.
- D_f é o diâmetro final, D_i é o diâmetro inicial.

TREFILAÇÃO OU ESTIRAMENTO

- O processo em geral é realizado a frio.
- Para uma redução elevada da área da seção transversal podem ser necessários tratamentos térmicos intermediários de recozimento.
- A redução máxima da seção transversal, por passe, é limitada pela tensão de escoamento do material na direção de tração.

TREFILAÇÃO OU ESTIRAMENTO

- O processo de trefilação pode ser usado para reduzir o diâmetro ou a espessura da parede de tubos sem costura.
- O processo pode ser realizado **com ou sem** o uso de **mandril**, que pode ser **do tipo fixo ou flutuante**.

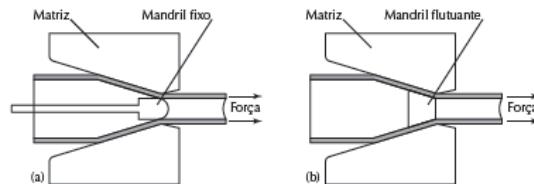


Figura 3.29
Trefilação de tubos
com mandril:
(a) mandril fixo, e
(b) mandril flutuante.

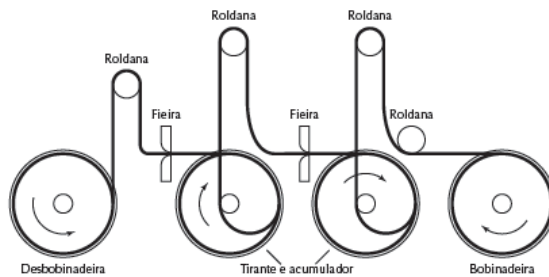
MÁQUINAS DE TREFILAÇÃO

- As máquinas de trefilação podem ser classificadas em:
 - Máquina de trefilar sem deslizamento
 - Máquina de trefilar com deslizamento
- Outra classificação considera o sistema de lubrificação:
 - Máquinas com sistema de imersão
 - Máquinas com sistema de aspersão
- Uma terceira classificação considera o diâmetro dos produtos trefilados: barras redondas (>5mm), fios grossos (5 a 2mm), médios (2 a 0,5mm), finos (0,5 a 0,15mm), e fios capilares (<0,15mm).

MÁQUINA DE TREFILAR SEM DESLIZAMENTO

- Possuem um sistema de tração do fio constituído de um anel tirante que primeiro acumula o fio trefilado para depois permitir o seu movimento em direção a fieira seguinte.

Figura 3.30
Desenho esquemático
da máquina de trefilar
sem deslizamento com
duas fieiras.



MÁQUINA DE TREFILAR COM DESLIZAMENTO

- O fio é tracionado por um anel tirante, no qual dá um certo número de voltas, em forma de hélice cilíndrica de passo igual ao diâmetro do fio
- O número de voltas do fio depende da força de atrito necessária para tracionar o fio através da fieira

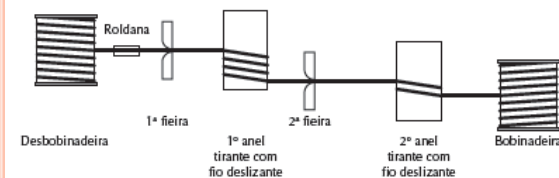


Figura 3.31
Figura esquemática
da máquina de trefilar
com deslizamento
com duas fieiras.

MÁQUINA DE TREFILAR COM DESLIZAMENTO

- No início da hélice o fio é alinhado com a primeira fieira e no fim da hélice com a fieira seguinte
- O movimento do fio na forma de hélice provoca o deslizamento lateral no anel

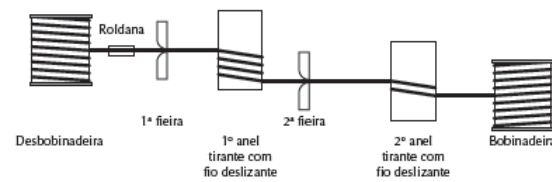
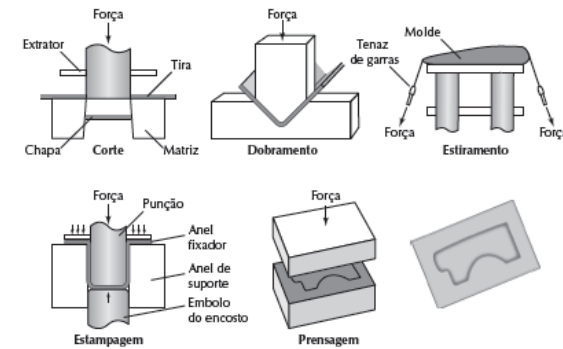


Figura 3.31
Figura esquemática da máquina de trefilar com deslizamento com duas fieiras.

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

- Em geral são processos realizados a frio pela aplicação de esforços através de um punção.

Figura 3.32
Operações de estampagem.

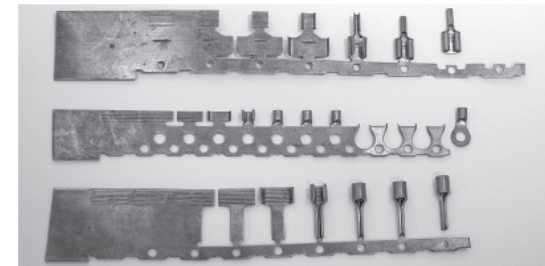


CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

- Em geral são utilizadas **pressas mecânicas (excêntricas)** ou **hidráulicas**, e alguns casos o **martelo de queda**, como na conformação de chapas finas,
- Na operação de **estampagem** ocorre o alongamento e a contração das dimensões de todos os elementos de volume, em suas três direções.
- Na operação de **estampagem**, a chapa inicialmente plana adquire uma forma oca.

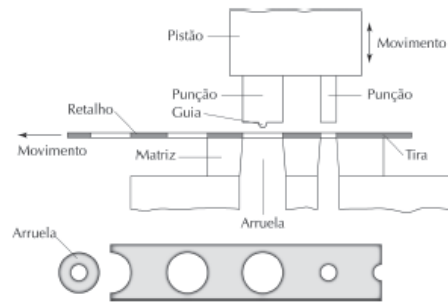
OPERAÇÃO EM MATRIZ DE CORTE PROGRESSIVO

Figura 3.33
Terminais elétricos de cobre produzidos através de processos de conformação de chapa fina. Largura dos terminais ≈ 7 mm.



OPERAÇÃO EM MATRIZ DE CORTE PROGRESSIVO

Figura 3.35
Matriz para recorte e perfuração progressivos na fabricação de arruelas.



CORTE DE CHAPAS

- A carga necessária para a operação pode ser estimada por meio da área que sofre o cisalhamento (A_s) e da tensão de escoamento por cisalhamento (k) como:

$$\text{Força} = k A_s = k \cdot \text{espessura} \cdot \text{perímetro}$$

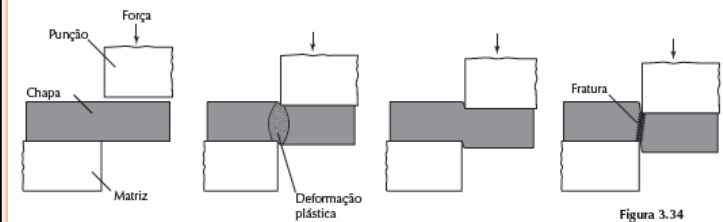


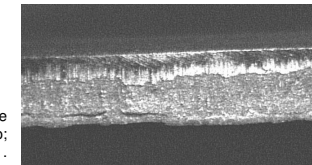
Figura 3.34
Operações de corte em chapa plana.

CORTE DE CHAPAS

- A aresta da chapa cortada apresenta três regiões distintas:
 - uma parte arredondada devido a deformação plástica da chapa no início do corte;
 - uma parte lisa formada pelo cisalhamento exercido pelo punção e pela matriz, e pelo atrito da peça com as superfícies do punção e da matriz;
 - uma parte rugosa correspondente a formação de uma trinca de fratura.

CORTE DE CHAPAS

- A folga entre o punção e a matriz é fundamental para uma operação de corte adequada.
- A folga varia em função da espessura e do tipo de material a ser cortado.
- O desgaste do punção e da matriz, ou uma folga inadequada, pode produzir rebarbas na aresta da chapa.

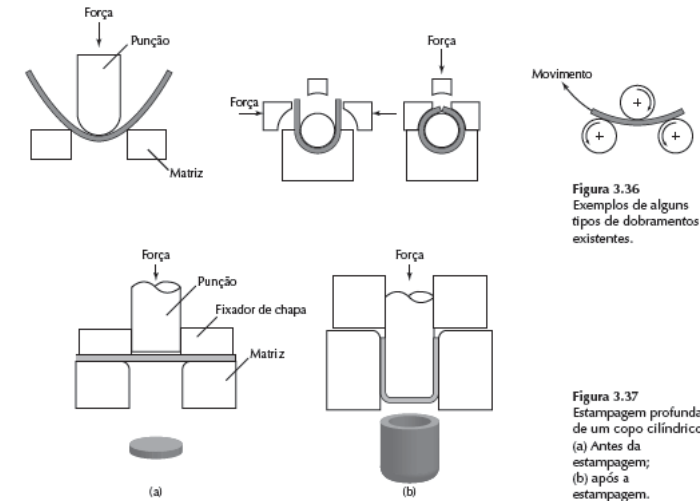


Souza, J.H.C.; Estudo do processo de corte de chapas por cisalhamento; Dissertação M.Sc.; UFRGS; 2001.

DOBRAMENTO

- No dobramento o material sofre deformação plástica devido a esforços de flexão.
- O processo pode ser aplicado a chapas, barras, tubos e perfis com diversos formatos.
- No dobramento deve-se levar em conta a recuperação elástica do material após a retirada dos esforços (efeito mola).

DOBRAMENTO E ESTAMPAGEM PROFUNDA

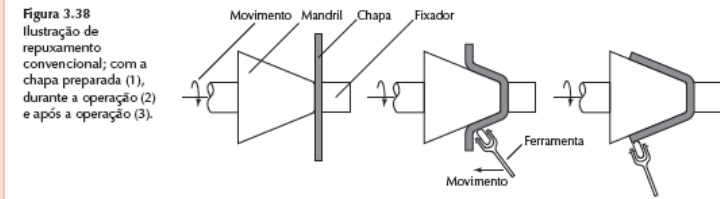


ESTAMPAGEM PROFUNDA (DEEP DRAWING)

- A partir de uma chapa plana, denominada "blank", é produzida uma forma cuja profundidade é superior a aproximadamente a metade de sua largura.
- É utilizada uma matriz e um punção com o formato que se deseja produzir na peça.
- Para evitar que surjam rugas, devido a contração da chapa provocada pela deformação, se utiliza um prensa-chapas.
- Uma pressão excessiva no prensa-chapas pode levar a chapa a ruptura durante o processo.

REPUXAMENTO (CONVENCIONAL)

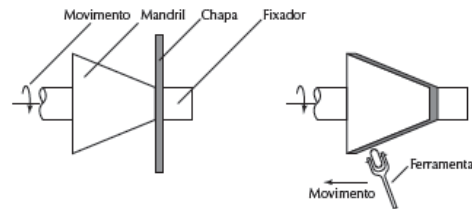
- No repuxamento uma chapa é gradualmente conformada sobre um mandril pela ação de uma ferramenta.
- A ferramenta aplica movimentos combinados na direção axial e radial para conformar a chapa.



REPUXAMENTO COM DEFORMAÇÃO POR CISALHAMENTO

- Nesse caso, além da curvatura, ocorre também uma redução na espessura da chapa.
- Esse processo é aplicado a chapas mais espessas.

Figura 3.39 Ilustração de repuxamento com deformação por cisalhamento; com a chapa preparada (1) e após a operação (2).



CONFORMAÇÃO POR EXPLOSÃO

- A detonação de uma carga explosiva provoca uma onda de choque cuja energia transmitida pela água deforma plasticamente uma chapa.
- A conformação pode ser:
 - livre
 - cilíndrica
 - em matriz

CONFORMAÇÃO POR EXPLOSÃO

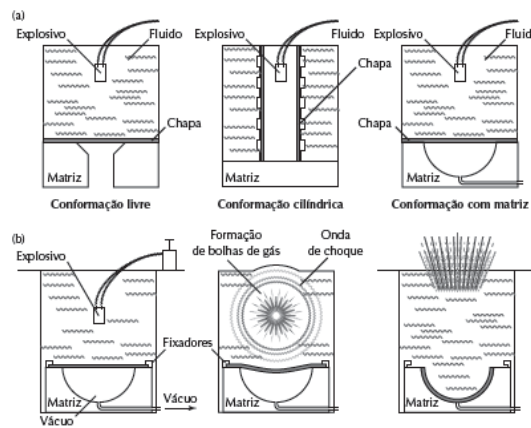
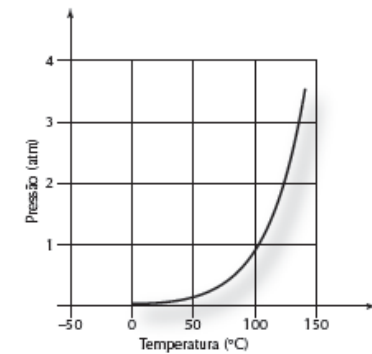


Figura 3.40 Ilustrações de três métodos de conformação com explosivos. (a); sequência do processo para a conformação com matriz (b).

FABRICAÇÃO DE UMA PAINELA DE PRESSÃO – APRESENTAÇÃO

Figura 3.41 Aumento da temperatura de ebulição da água com a pressão.



FABRICAÇÃO DE UMA PANELA DE PRESSÃO – APRESENTAÇÃO

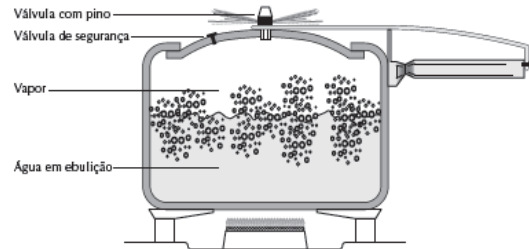


Figura 3.42 Esquema de uma panela de pressão, em corte, ilustrando-a em funcionamento.

FABRICAÇÃO DE UMA PANELA DE PRESSÃO – MATERIAL

Tabela 3.1 Composição química de ligas de alumínio utilizadas em panelas de pressão

Liga	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
AA 3003	0,6	0,7	0,05-0,20	1,0-1,5	-	0,1	-
AA 3014	0,6	1,0	0,50	1,0-1,5	0,1	0,50-1,0	0,10

FABRICAÇÃO DE UMA PANELA DE PRESSÃO – PROCESSO



Figura 3.43 Etapas de conformação da panela de pressão. Diâmetro externo: 20 cm. Cortesia Nigro Alumínio.

FABRICAÇÃO DE UMA PANELA DE PRESSÃO – PROCESSO

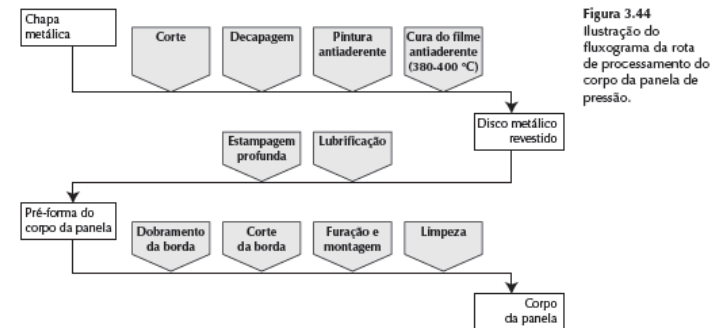


Figura 3.44 Ilustração do fluxograma da rota de processamento do corpo da panela de pressão.