



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

Instituto Federal de Santa Catarina
Campus de Florianópolis
Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica
Curso Técnico de Mecânica Industrial – ProIn II

Processos de Fabricação

Conformação Mecânica

ProIn II – Mecânica Industrial

Prof. Henrique Cezar Pavanati, Dr. Eng

E-mail: pavanati@ifsc.edu.br

Conformação Mecânica

CARACTERÍSTICAS

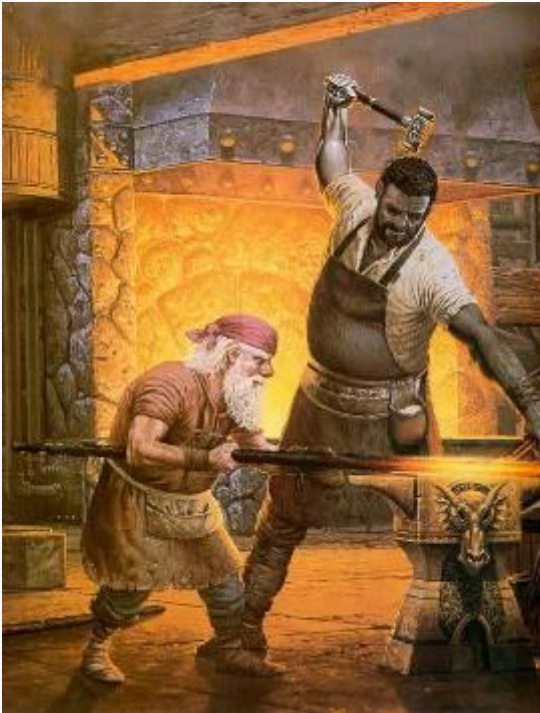
Peças conformadas mecanicamente são obtidas fazendo-se a redistribuição de massa de um material no estado sólido.



Em outras palavras, é o processo de fabricação em que a forma de uma certa peça é modificada pela deformação plástica

Conformação Mecânica

CARACTERÍSTICAS



A distribuição do material no estado sólido é geralmente obtido aplicando-se pressão no metal fazendo com que o mesmo se deforme plasticamente até atingir a forma desejada.

Cerca de 80% dos produtos metálicos manufaturados sofrem uma ou mais operações de conformação mecânica

Conformação Mecânica

EXEMPLO DE PEÇAS OBTIDAS



Conformação Mecânica

POTENCIALIDADES

1. Vantagem econômica

Bom aproveitamento de matéria-prima (poucas sobras)

2. Rapidez na execução

A moldagem é realizada geralmente em poucos segundos

3. Controle das propriedades mecânicas

Facilidade em alterar a microestrutura do material

4. Grande precisão dimensional

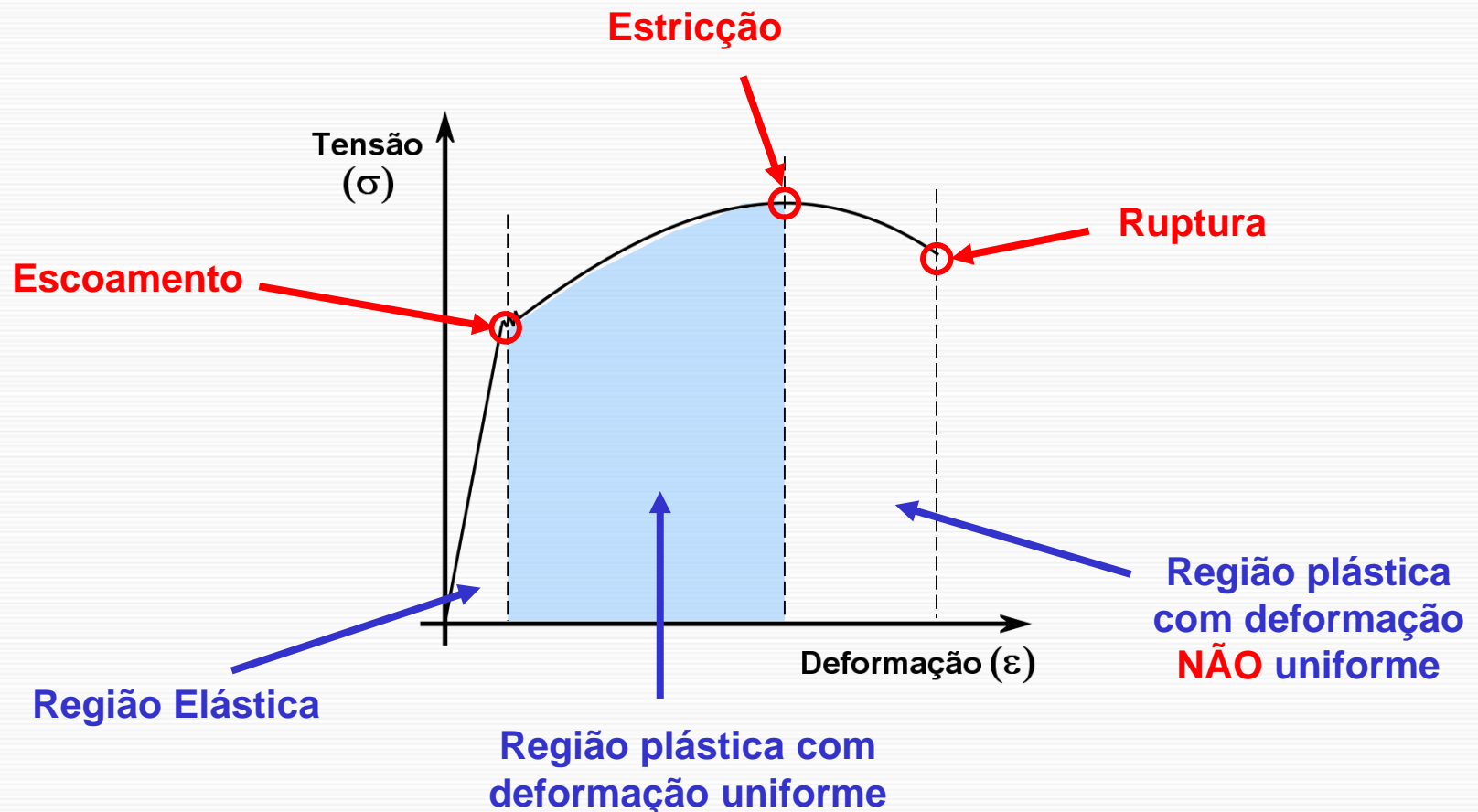
É possível trabalhar com estreitas tolerâncias dimensionais

5. Produção em série

Fácil automação

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – Curva tensão x deformação



Conformação Mecânica

GENERALIDADES

Existem centenas de processos de conformação mecânica, podendo ser classificados em grupos, seguindo alguns critérios, como:

- 1. Tipo de esforço dominante**
- 2. Temperatura de trabalho**
- 3. Forma do produto final**
- 4. Tamanho da região de deformação**
- 5. Escoamento do material**
- 6. Produtos obtidos**

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

Tipo de esforço dominante

1. Compressão direta

A deformação ocorre na direção da direção de aplicação da força

2. Compressão indireta

A direção de deformação causada por esforços compressivos se originam a partir de uma força aplicada em direção distinta da deformação

3. Tração

A peça toma forma da matriz através da aplicação de forças de tração

4. Flexão

Deformação é obtida com a aplicação de um momento fletor

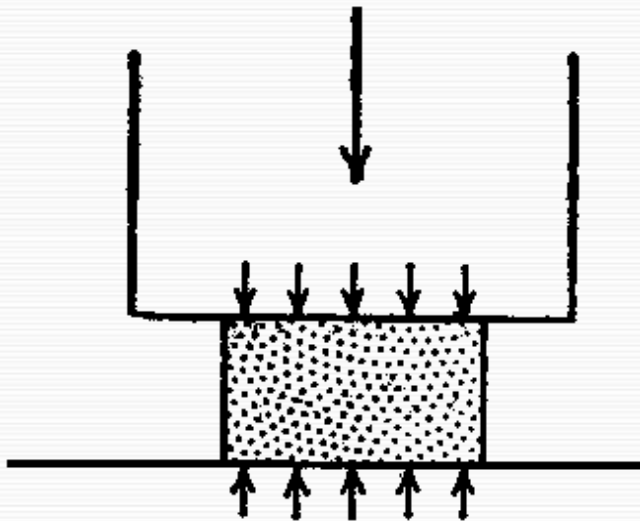
5. Cisalhamento

Envolve forças cisalhantes suficientes ou não para romper o material no seu plano cisalhante

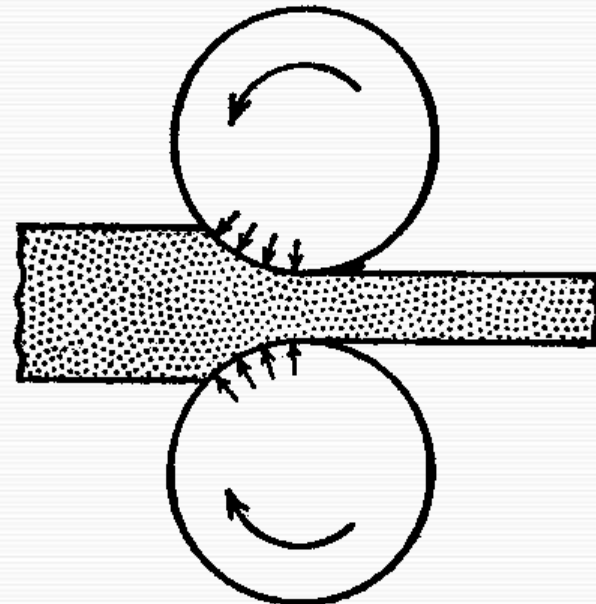
Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

COMPRESSÃO DIRETA



FORJAMENTO

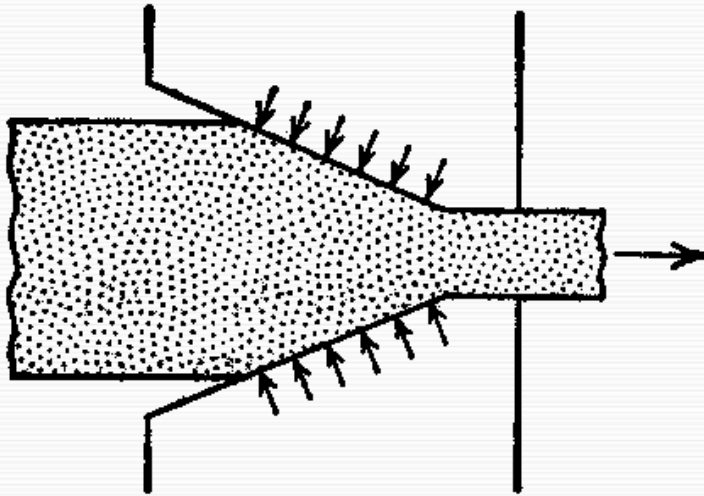


LAMINAÇÃO

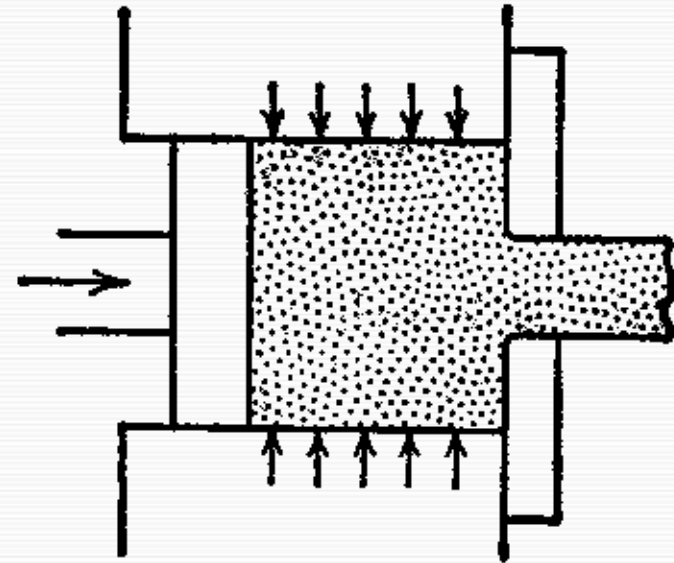
Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

COMPRESSÃO INDIRETA



TREFILAÇÃO



EXTRUSÃO

Conformação Mecânica

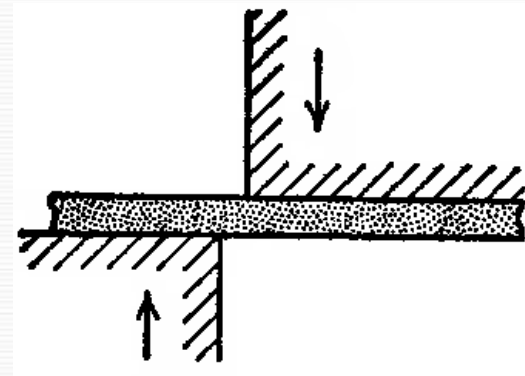
GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

TRAÇÃO



ESTIRAMENTO

CISALHAMENTO

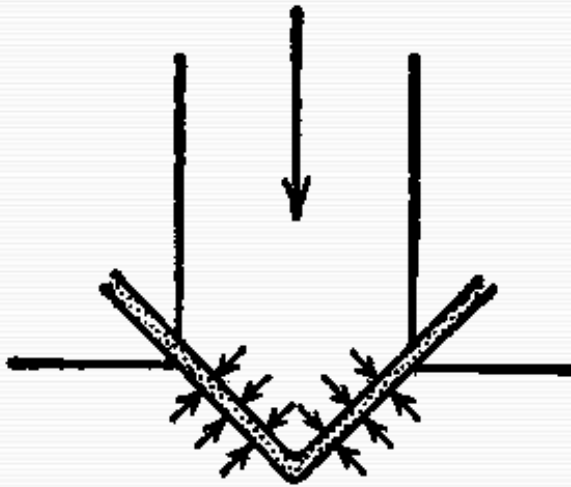


CORTE DE CHAPAS

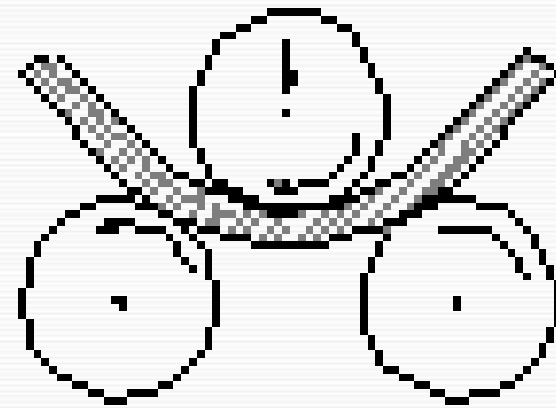
Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

FLEXÃO



DOBRAMENTO



CALANDRAGEM

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

Quanto à temperatura de trabalho

1. A frio

Quando a temperatura de trabalho é MENOR que a temperatura de *recristalização*

2. A quente

Quando a temperatura de trabalho é MAIOR que a temperatura de *recristalização*

3. Morno

Quanto a temperatura de trabalho é MENOR que a temperatura de *recristalização*, mas é MAIOR que a temperatura de *recuperação*

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

Quanto à temperatura de trabalho

Esperem aí? Mas o que significa:

- 1. Recristalização?**
- 2. Recuperação?**
- 3. Temperatura de recristalização?**
- 4. Temperatura de recuperação?**

Conformação Mecânica

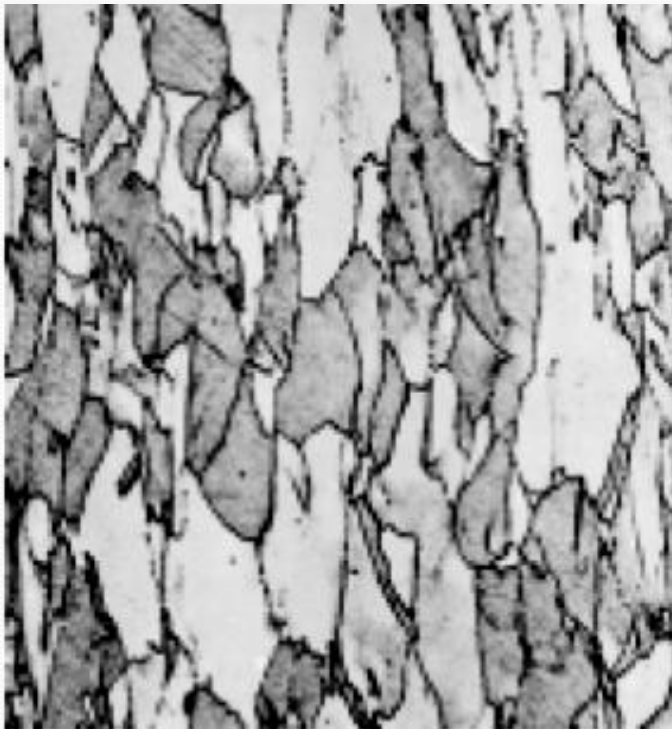
RECRISTALIZAÇÃO

Quando o material é deformado plasticamente ele movimentada discordâncias. A movimentação de discordâncias gera novas discordâncias, tendo-se como consequência o aumento na densidade de discordâncias. Este fenômeno chamado de *encruamento* tem como consequência o aumento do LE do material e redução da plasticidade do mesmo.

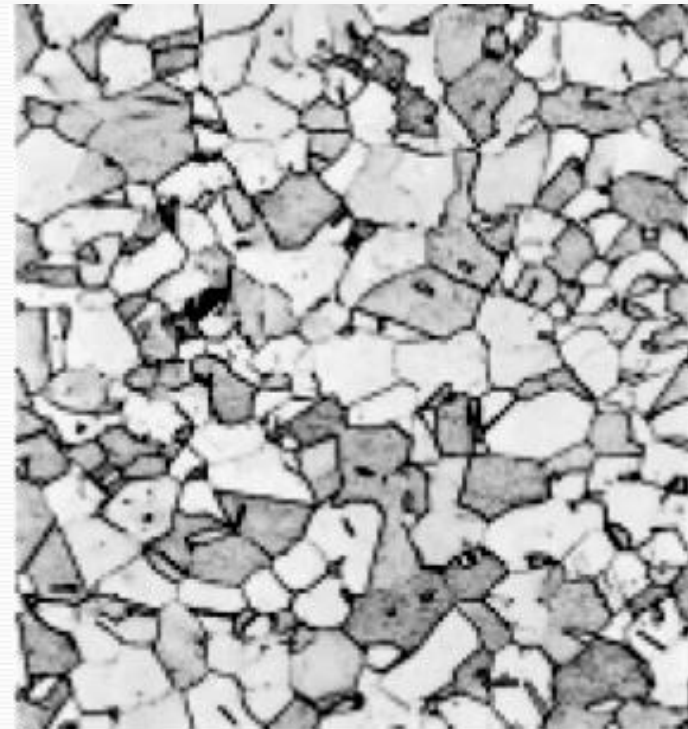
A recristalização devolve ao material seu LE e plasticidade originais. Os grãos encruados (deformados) são substituídos por novos grãos com menor densidade de discordâncias

Conformação Mecânica

RECRISTALIZAÇÃO



Grãos encruados



Grãos recristalizados

Conformação Mecânica

RECRISTALIZAÇÃO



encruado



**10%
recrist.**



**50%
recrist.**



**100%
recrist.**



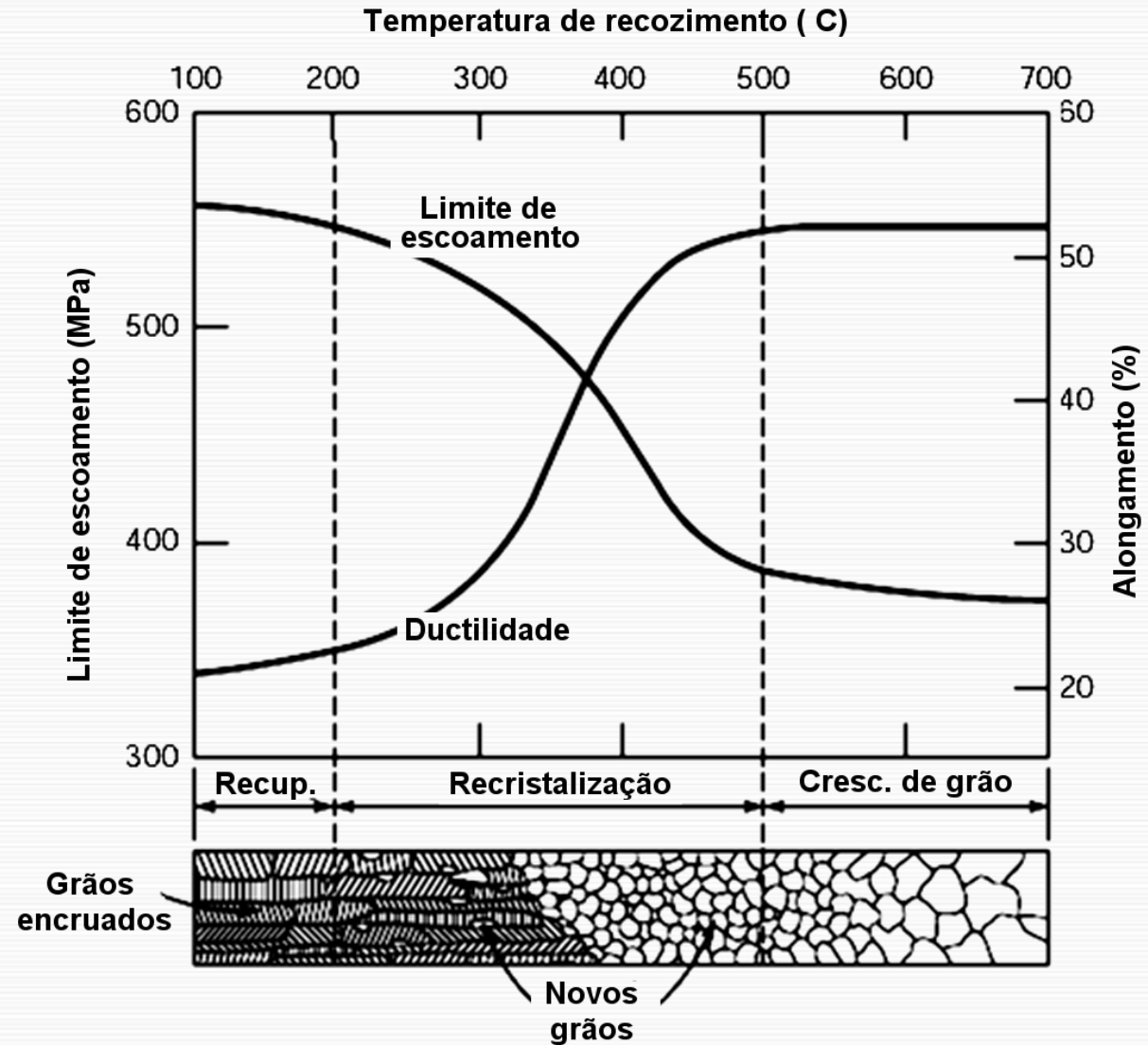
**Cresc.
de grão**



**Cresc.
de grão**

Conformação Mecânica

RECRISTALIZAÇÃO



Conformação Mecânica

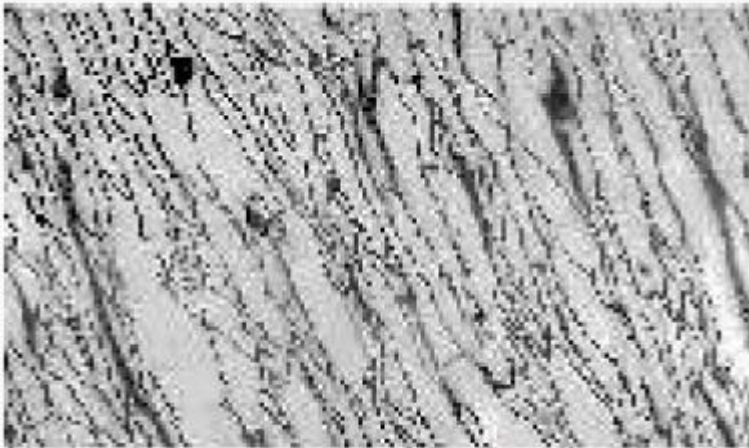
RECUPERAÇÃO

Na recuperação não há formação de novos grãos, mas somente a movimentação de algumas discordâncias que são reorganizadas e, eventualmente, anuladas formando-se uma estrutura interna com subgrãos

A recuperação devolve parte da plasticidade do material sem que o mesmo perca demasiadamente o LE adquirido pelo *encruamento*

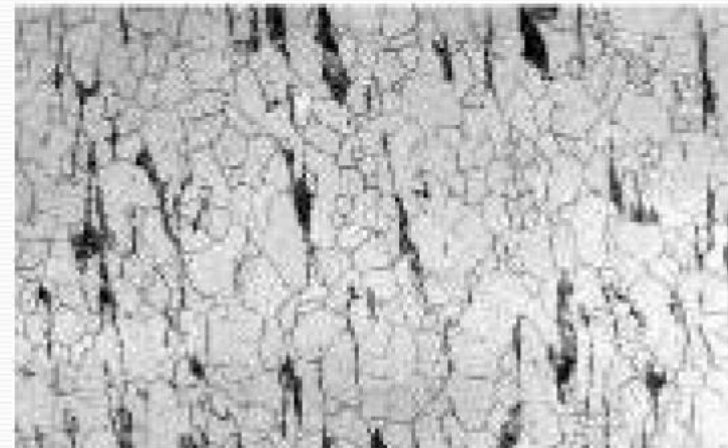
Conformação Mecânica

RECUPERAÇÃO



**Aço 1010 encruado e
recozido a 550 °C**

**Somente
Recuperação**



**Aço 1010 encruado e
recozido a 600 °C**

**Sofreu
Recristalização**

Conformação Mecânica

TEMPERATURA DE RECRISTALIZAÇÃO

A temperatura de recristalização diz respeito à temperatura correspondente àquela na qual um material severamente *encruado* irá atingir a total recristalização em 1 hora

Material	Temp recrist. (°C)
Aço baixo carbono	538
Cobre eletrolítico	121
Alumínio	279
Níquel	571
Zinco	10
Chumbo	-4
Estanho	-4

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

Quanto à temperatura de trabalho

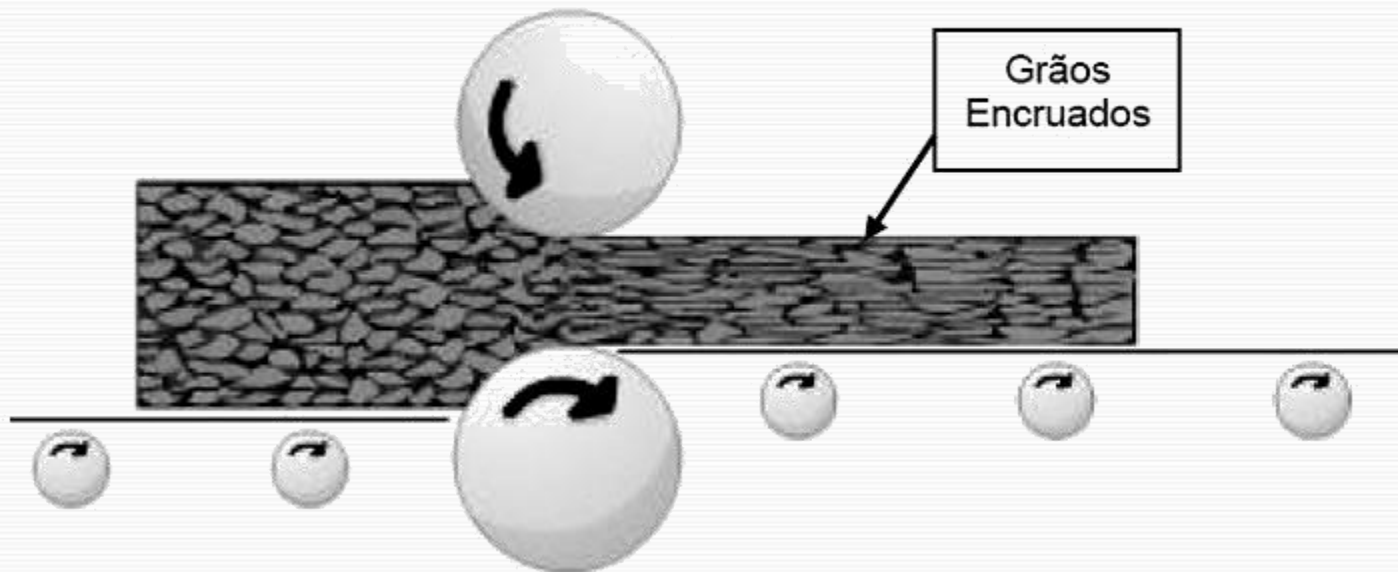
- **A FRIO** → Quando a temperatura de trabalho é menor que a temperatura que provoca a recristalização do metal.
 - pequenas deformações;
 - encruamento;
 - elevada qualidade dimensional e superficial;
 - normalmente empregado para acabamento;
 - recuperação elástica;
 - equipamentos e ferramentas mais rígidos.

$$T_T < T_{REC}$$

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

Quanto à temperatura de trabalho



Conformação a frio

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

Quanto à temperatura de trabalho

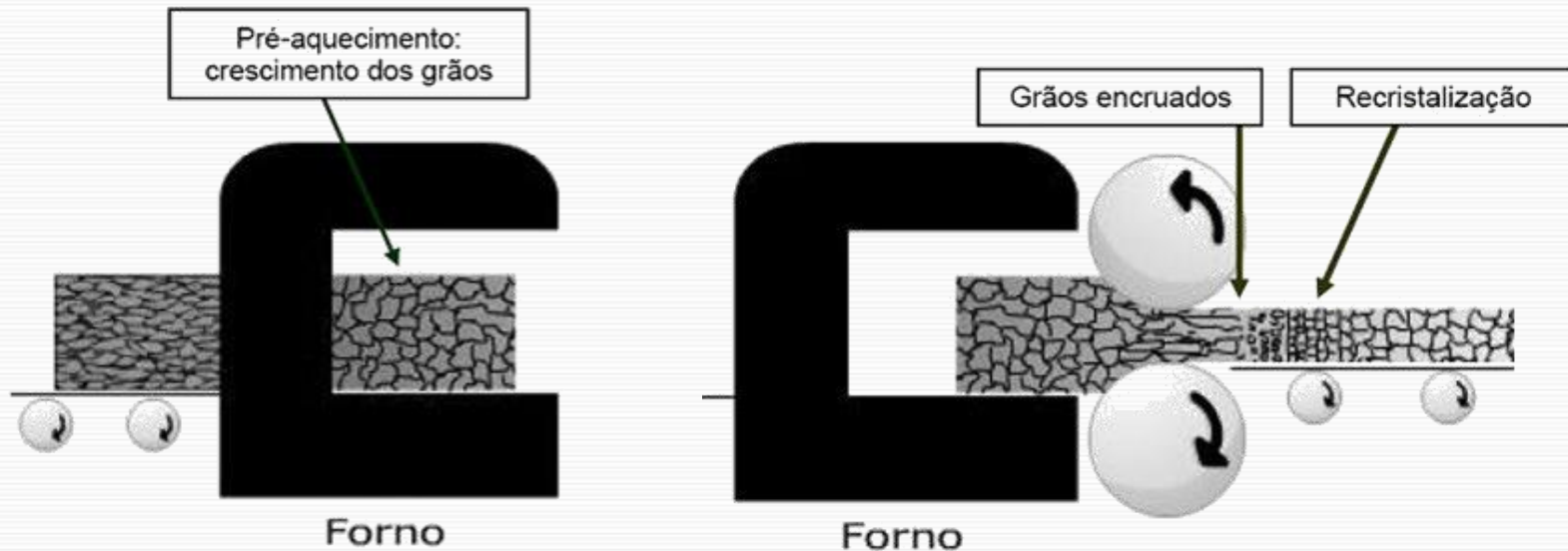
- **A QUENTE** → Quando a temperatura de trabalho é maior que a temperatura que provoca a recristalização do metal.
 - grandes deformações;
 - recozimento/normalização;
 - baixa qualidade dimensional e superficial;
 - normalmente empregado para desbaste;
 - peças grandes e de formas complexas;
 - contração térmica, crescimento de grãos e oxidação.

$$T_T > T_{REC}$$

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

Quanto à temperatura de trabalho



Conformação a quente

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

Quanto à temperatura de trabalho

- **MORNO** → Quando a temperatura de trabalho é maior que a temperatura que provoca a recristalização do metal.

→ reúne as características vantajosas dos trabalhos a frio e a quente;

$$T_T \approx T_{REC}$$

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

Quanto à temperatura de trabalho

Tabela comparativa

	TQ	TF	TM
Força e energia	<	>	~
Elimino de defeitos da fundição	>	<	~
Tolerância e acabamento	<	>	~
Surgimento de discordâncias	<	>	~
Uniformidade da microestrutura	<	>	~
Recuperação	não	não	sim
Recristalização	sim	não	não

Legenda: > (maior); < (menor); ~ (intermediário).

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

3 – QUANTO À FORMA DO PRODUTO FINAL

- chapas, perfis → Laminação, Estampagem
- tubos, fios, barras → Trefilação, Extrusão

4 – TAMANHO DA REGIÃO DE DEFORMAÇÃO

- localizada -> Laminação, Trefilação, Extrusão
- generalizada -> Estampagem, Forjamento

Conformação Mecânica

GENERALIDADES – CLASSIFICAÇÃO

5 – ESCOAMENTO DO MATERIAL

- contínuos -> Laminação, Trefilação, Extrusão
- intermitentes -> Estampagem, Forjamento

6 – PRODUTOS OBTIDOS

- semi-acabados -> Processos primários
- acabados -> Processos secundários ou finais

Conformação Mecânica

GENERALIDADES

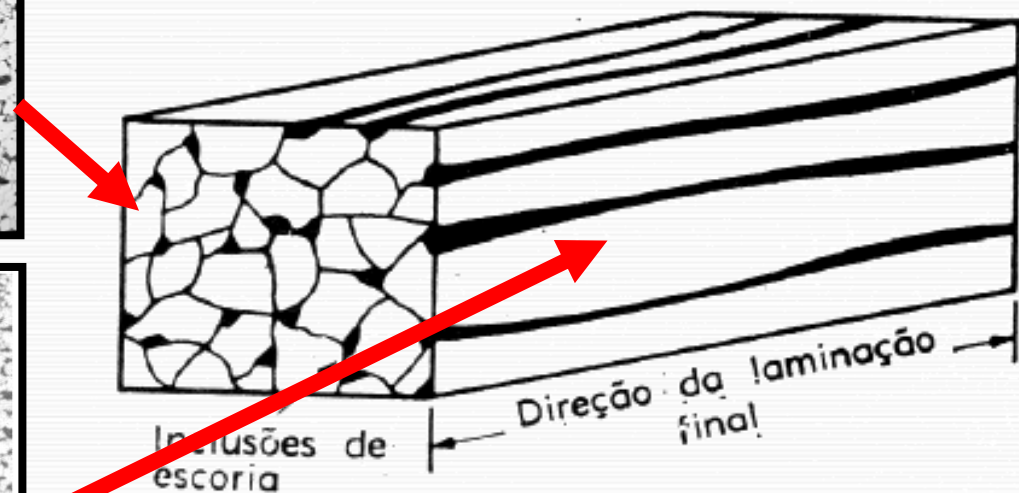
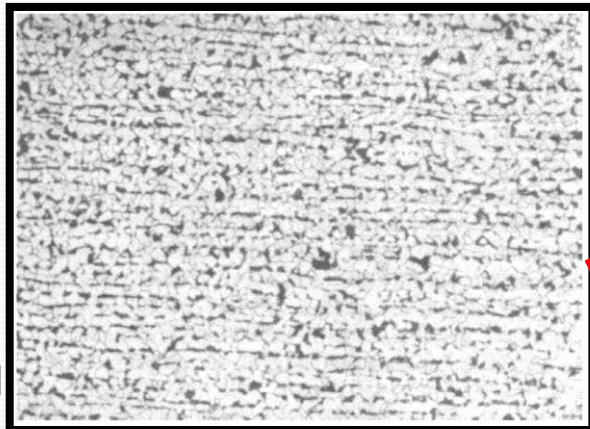
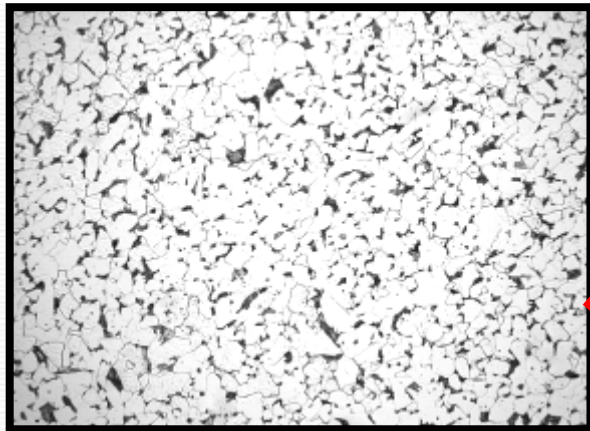
Fibramento Mecânico

O fibramento mecânico é uma característica microscópica ou até mesmo macroscópica dos materiais metálicos causados pela orientação de defeitos oriundos, principalmente, do processo primário de obtenção (fundição). Pode-se citar como exemplo: poros, vazios, contornos de grão, inclusões, grãos de 2ª fase, precipitados, regiões segregadas, etc..

Conformação Mecânica

GENERALIDADES

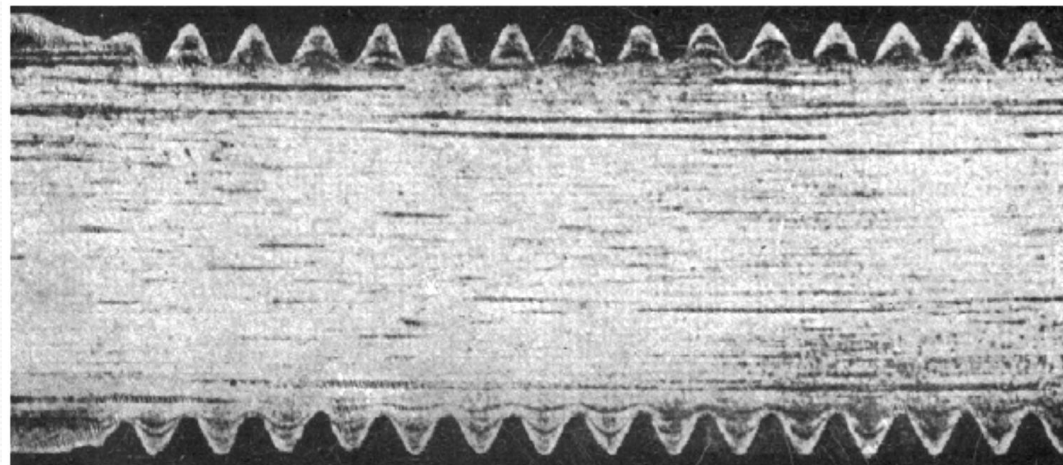
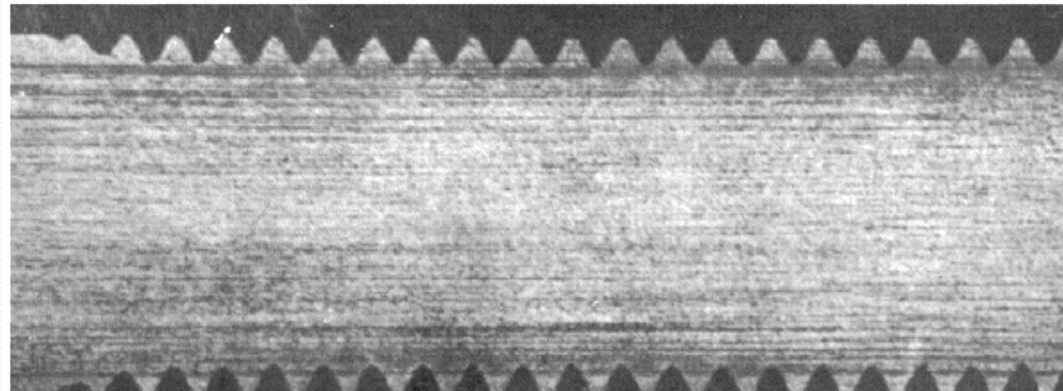
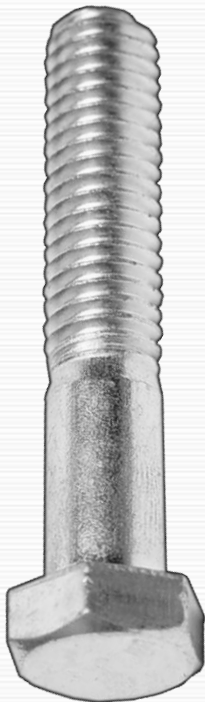
Fibramento Mecânico



Conformação Mecânica

GENERALIDADES

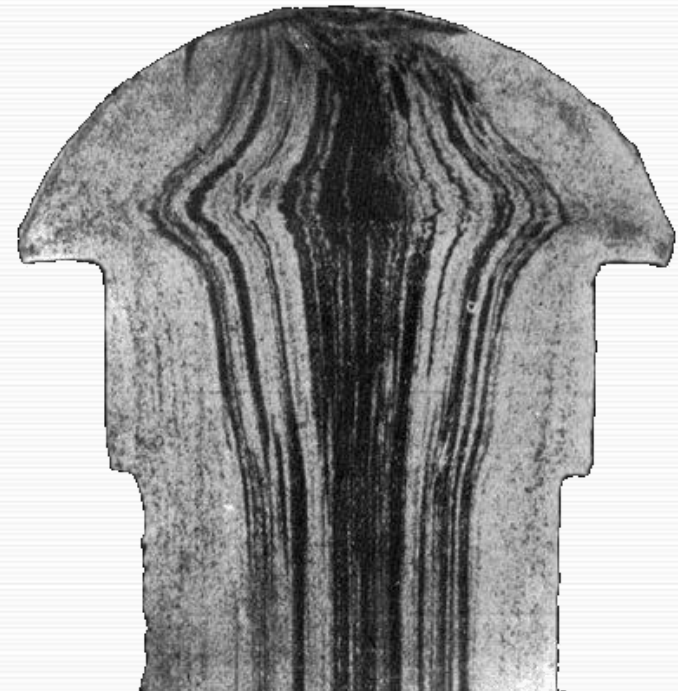
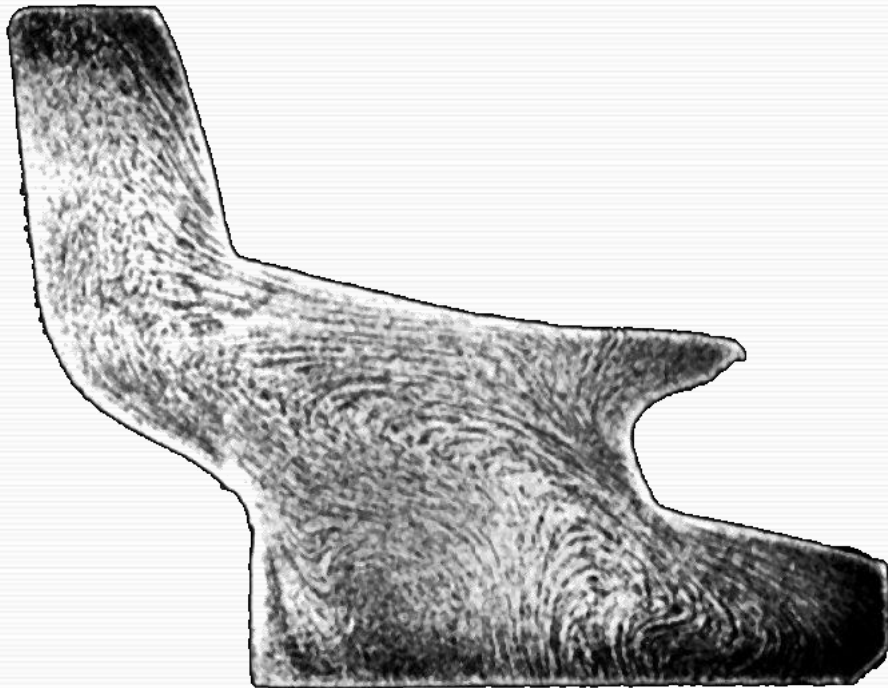
Fibramento Mecânico



Conformação Mecânica

GENERALIDADES

Fibramento Mecânico



Conformação Mecânica

GENERALIDADES

Fibramento Mecânico



Conformação Mecânica

PROCESSO DE LAMINAÇÃO

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

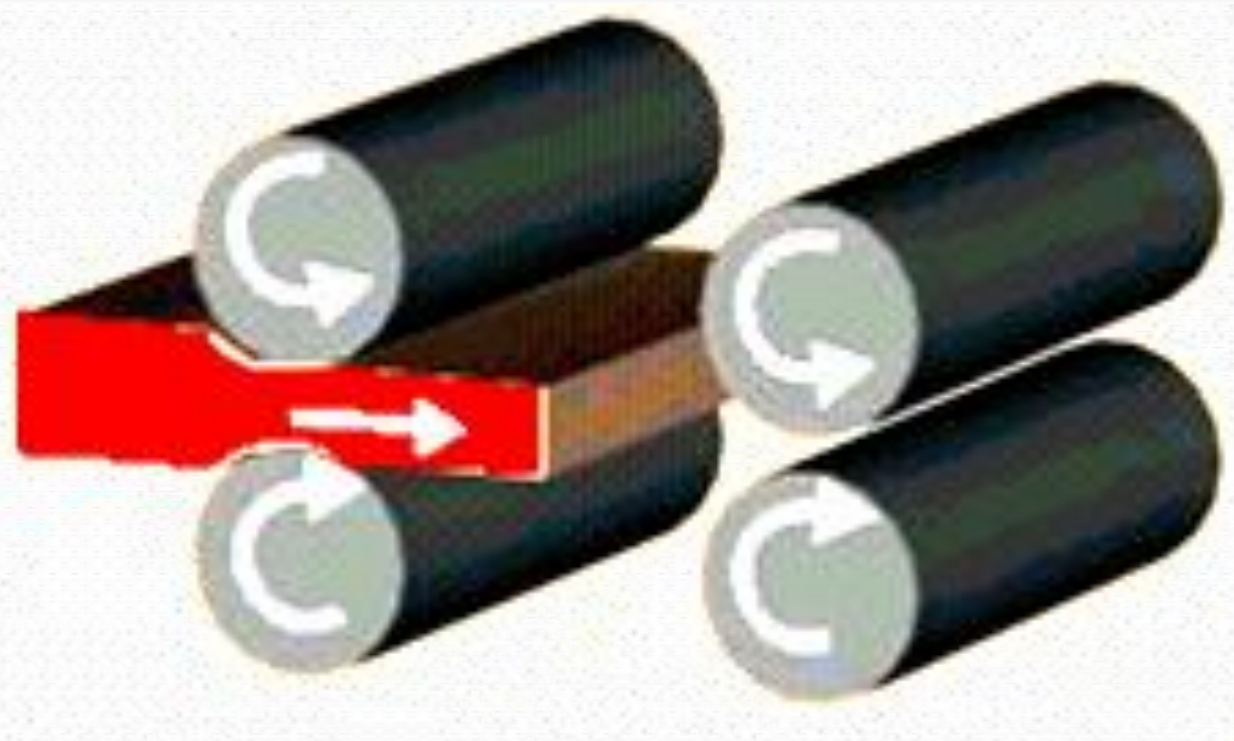


A laminação consiste na passagem de uma peça entre dois cilindros que giram, de forma a reduzir a área da seção transversal da peça.

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

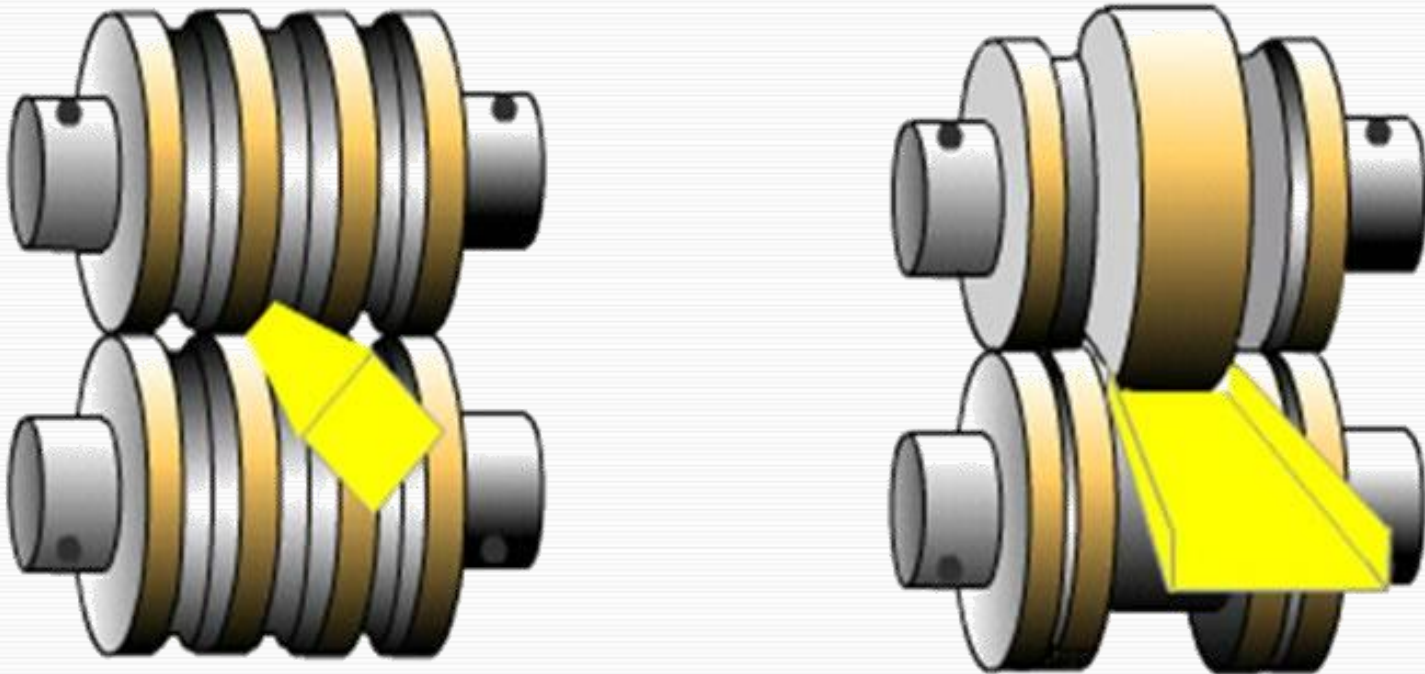
Laminação de planos



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

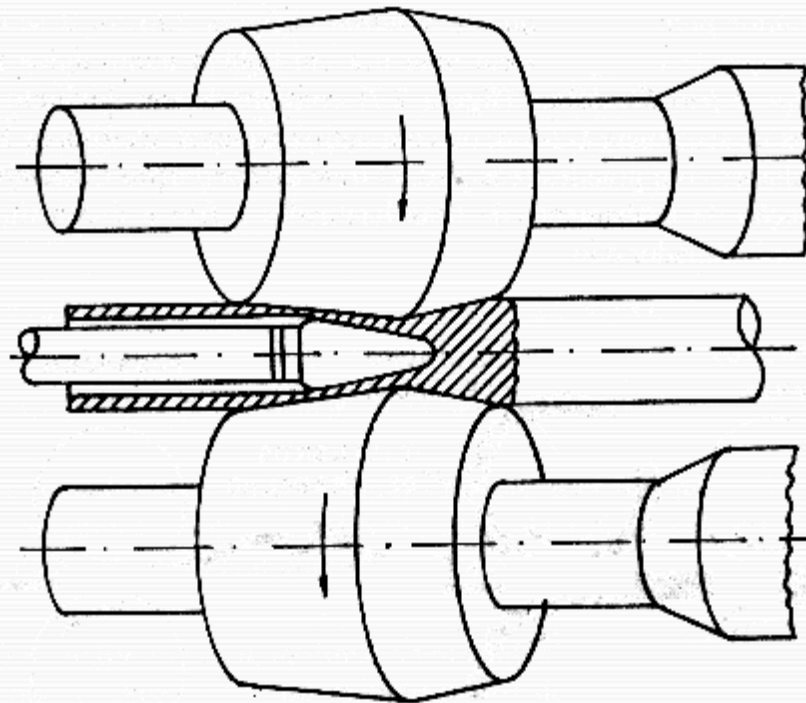
Laminação de perfis



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

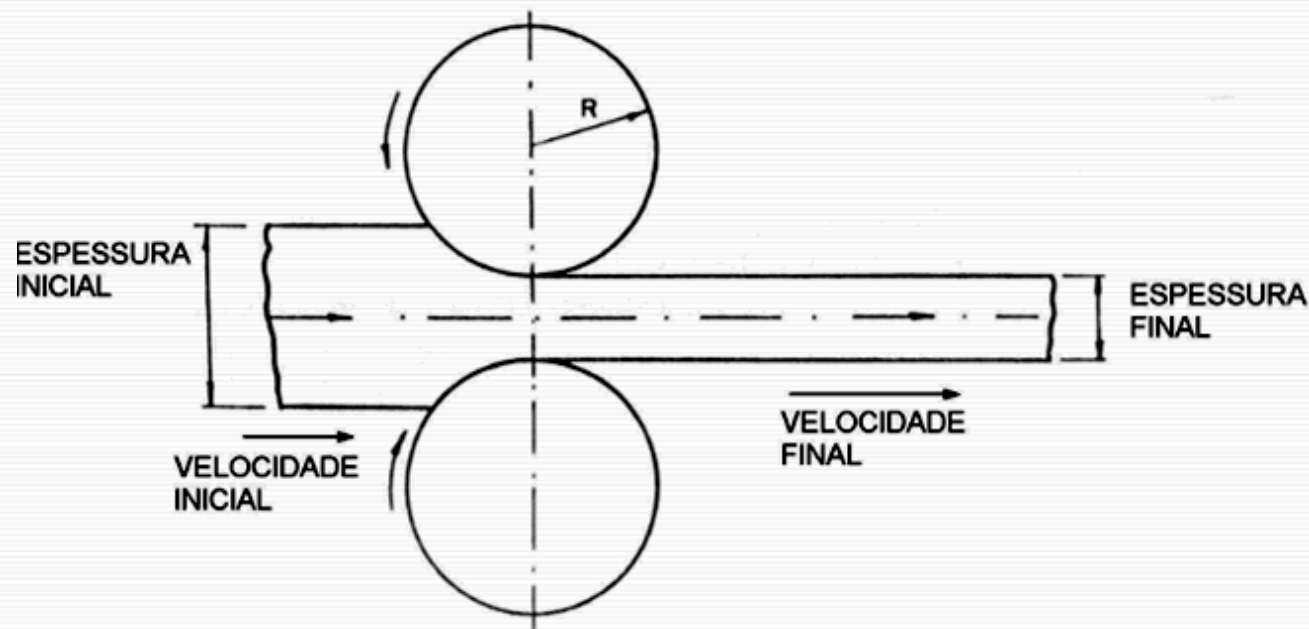
Laminação de tubos



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Na laminação o material é submetido a tensões compressivas (compressão direta) elevadas, resultantes da ação de prensagem dos rolos e a tensões cisalhantes superficiais, resultantes do atrito entre os rolos do material.



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Características

Ao passar entre os cilindros o metal sofre deformação plástica

A espessura é reduzida enquanto que a largura e, principalmente, o comprimento são aumentados

Em condições normais o resultado obtido é o alongamento do material, sendo o alargamento resultante muito menor que o seu alongamento

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

- 1. Aplicado geralmente em metais**
- 2. Primeiro relato: século XVI (Leonardo da Vinci)**
- 3. Laminação moderna: 1783**
- 4. Potência de acionamento elevada (rodas d'água, motores a vapor, motores elétricos)**

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Características

- 1. A peça a ser conformada se movimentada pelo atrito com os cilindros;**
- 2. Volume constante**
- 3. A quente ou a frio**
- 4. Compressão direta**
- 5. Produtos planos e não planos**

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Características

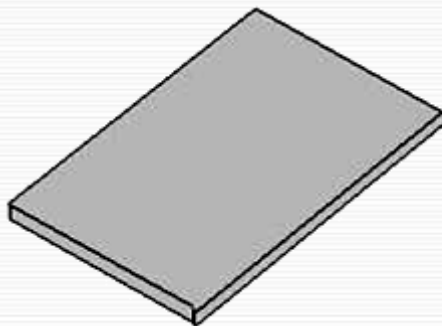
- 1. Processo mais utilizado na fabricação de chapas e perfis**
- 2. Alta produtividade**
- 3. Pode obter produtos com excelente tolerâncias dimensionais**

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

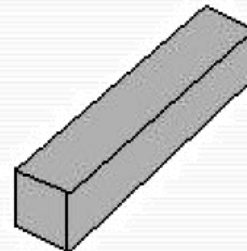
Características



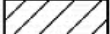

Processo mais utilizado na fabricação de
PLACAS e TARUGOS



- Chapas
- Tiras

Placas



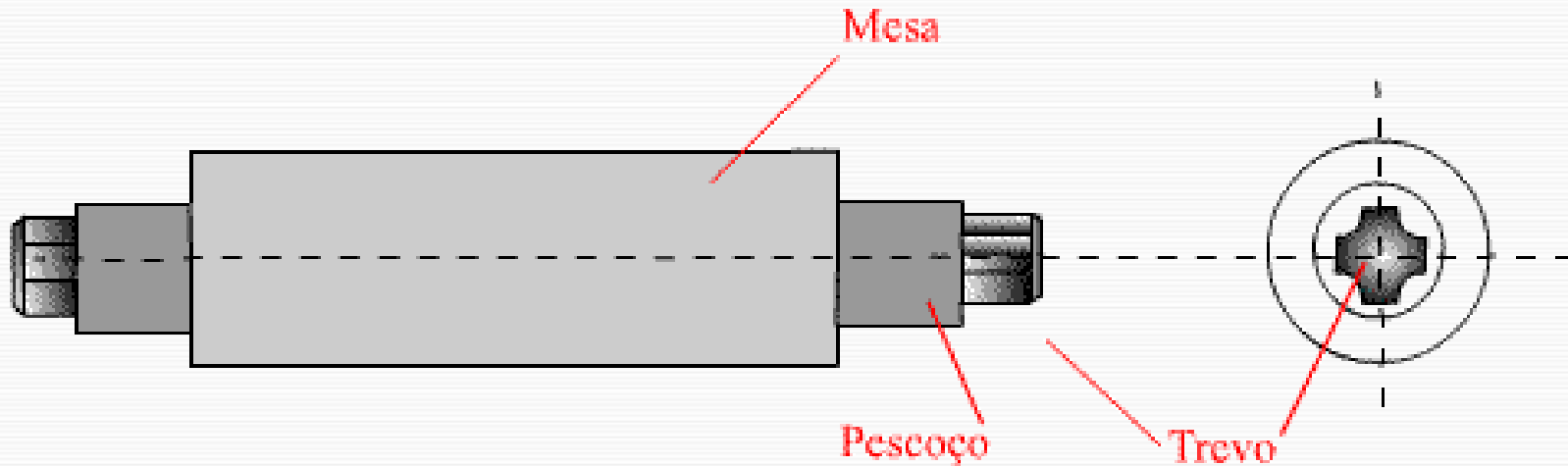
- Barras   
- Perfis estruturais L, U, T, I, H
- Tubos sem costura 

Tarugos

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

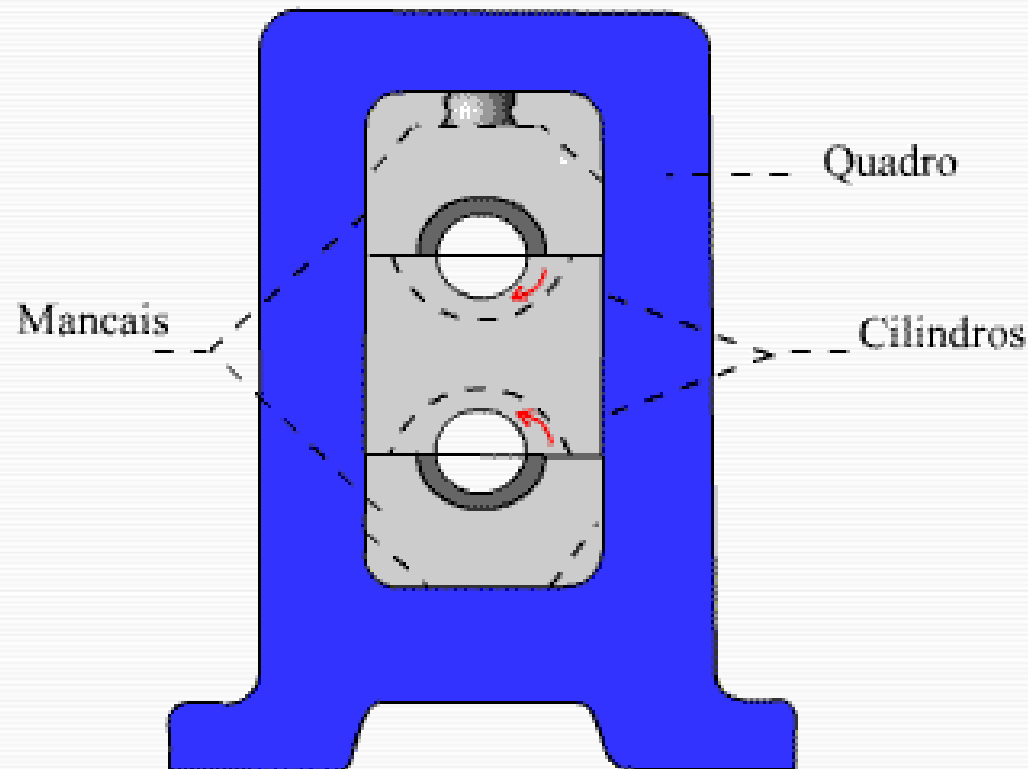
Equipamento - Laminadores



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

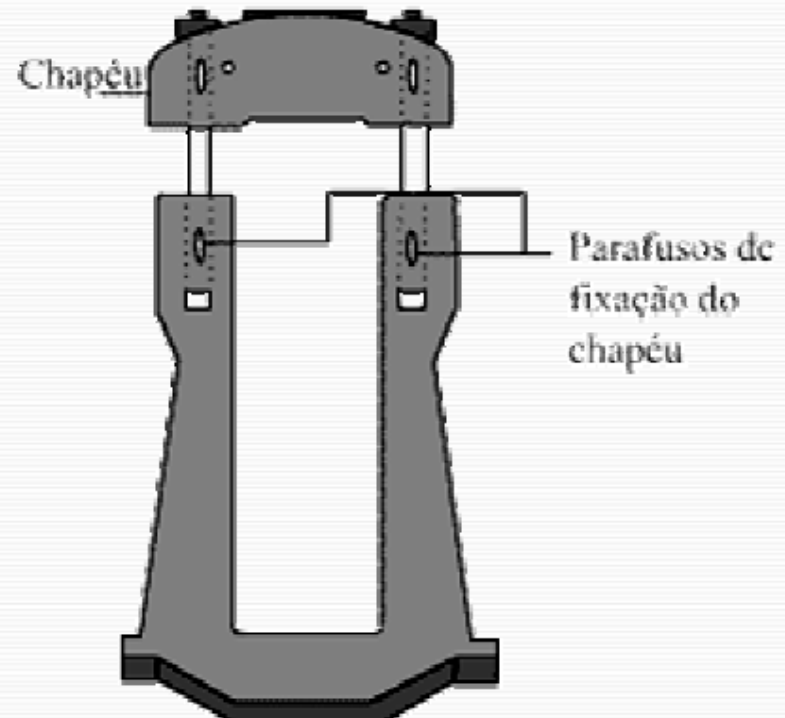
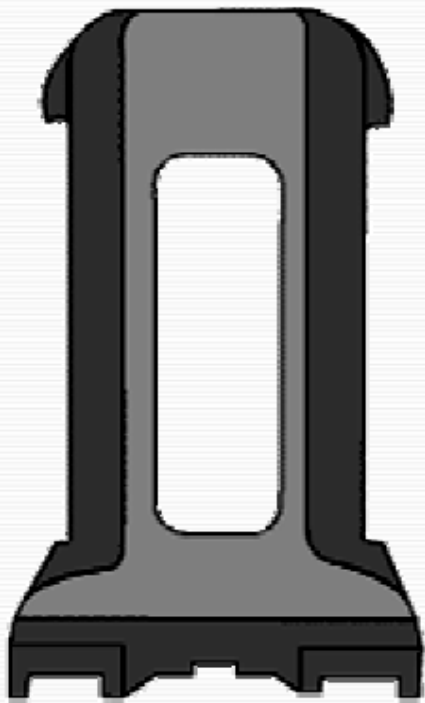
Equipamento - Laminadores



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Equipamento - Laminadores

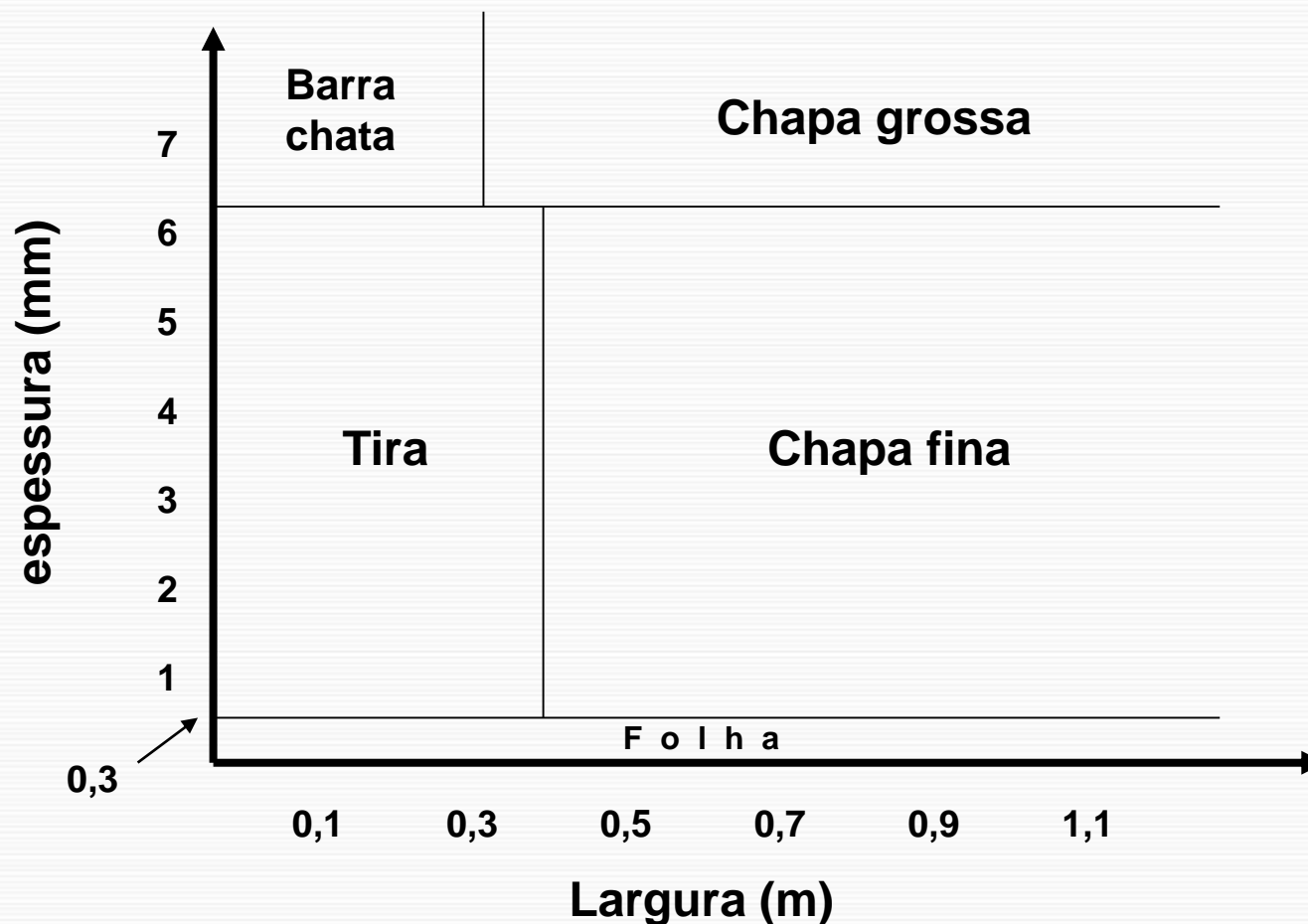


Quadros fechado e aberto do laminador duo típico

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Produtos Planos



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Espessura mínima para redução para cilindros de aço

$$h_{\min} \sim 3,43 \cdot 10^{-4} \mu * R * \sigma_{\text{esc}}$$

h_{\min} = espessura mínima da chapa

μ = coeficiente de atrito entre chapa e cilindro

R = Raio do cilindro

σ_{esc} = Tensão de escoamento do material da chapa

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Espessura mínima para redução para cilindros de aço

Logo, para se poder laminar chapas mais finas pode-se:

- Reduzir o coeficiente de atrito entre chapa e cilindro;**
- Utilizar um material com limite de escoamento menor;**
- Utilizar cilindro de laminação com raio menor.**

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Equipamento - CLASSIFICAÇÃO

1. Quanto ao produto que trabalham;
2. Quanto ao produto que produzem;
3. Quanto à distribuição da gaiola;
4. Quanto ao número de cilindros;
5. Quanto ao formato da mesa do cilindro.

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao produto que trabalham

- Trens desbastadores ou primários (só a quente);
- Trens preparadores;
- Trens finos ou trens de acabamento.

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao produto produzem

- Planos
 - Chapas grossas: > 6 mm de espessura
 - Chapas finas a quente: de 1,2 a 6 mm de espessura
 - Chapas finas a frio: de 0,3 a 2 mm de espessura
- Não-planos
 - Perfis em T, Y, V, L etc..
 - Tarugos de seção quadrada, redonda, sextavada
 - Tubos

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto à distribuição das gaiolas

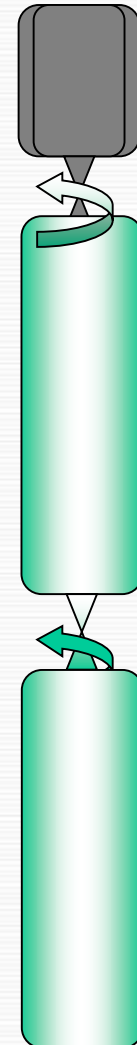
- Trem aberto ou em ziguezague;
- Trem contínuo ou em tandem;
- Trem semi-contínuo

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

- Trem aberto ou em ziguezague

Uma gaiola é colocada ao lado da outra com um único motor de acionamento. Nesse tipo de trem podemos ter várias barras de saída.

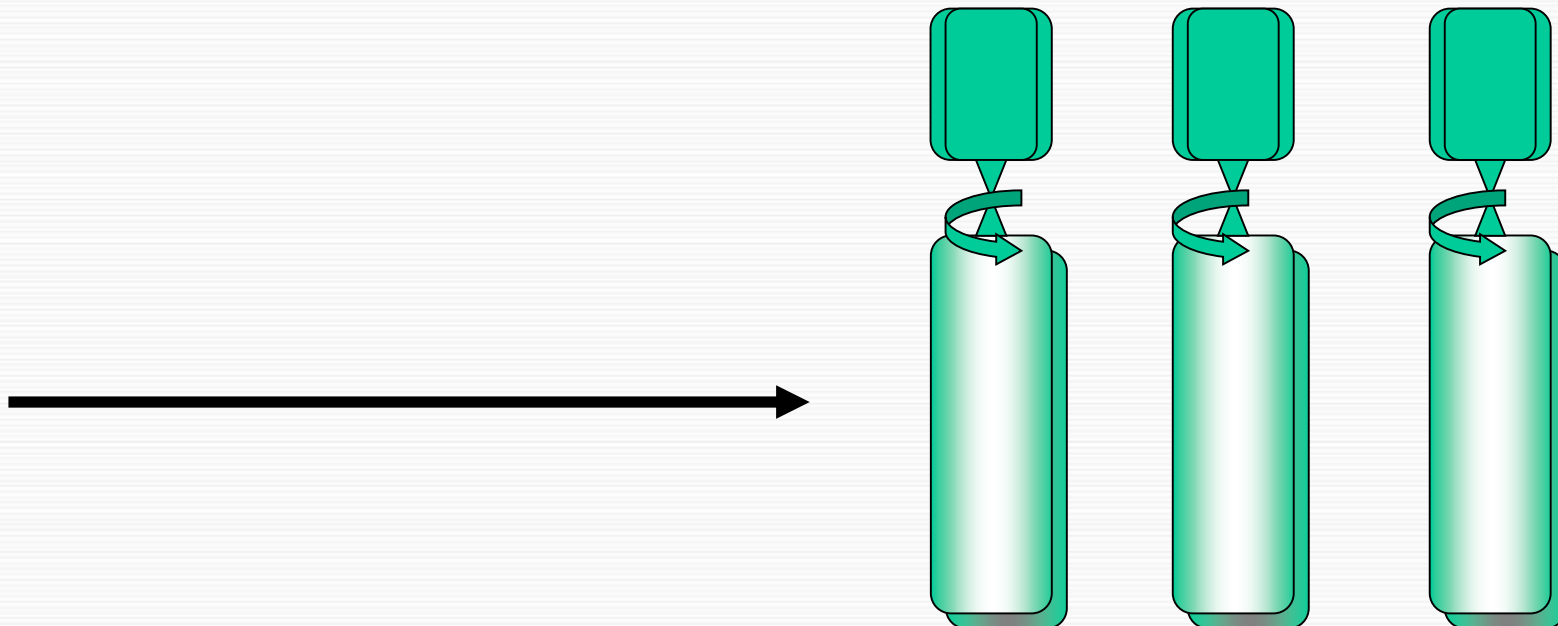


Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

- Trem contínuo ou em tandem

As gaiolas são colocadas uma em frente à outra. Para cada gaiola existe um motor de acionamento, e só pode sair uma barra de cada vez.

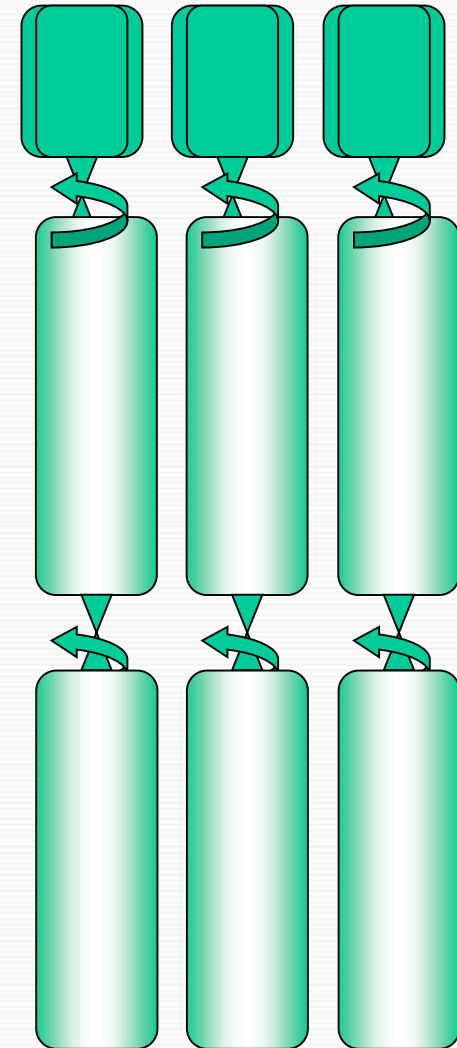
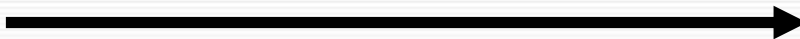
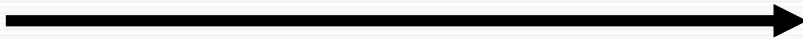


Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

- Trem semi-contínuo

Uma combinação dos dois anteriores



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

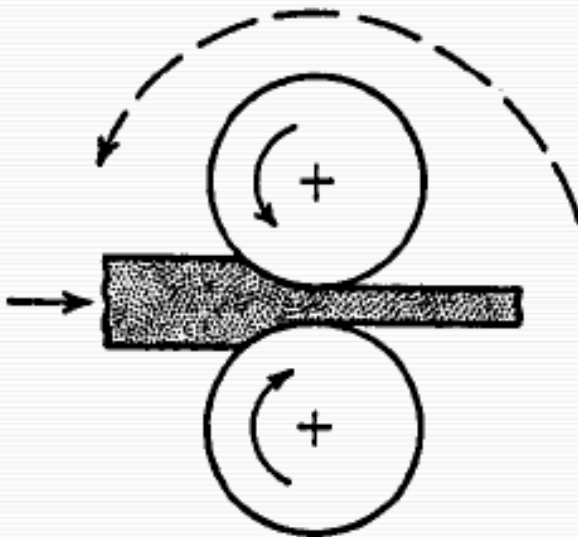
CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao número de cilindros

- Laminador Duo
- Laminador Duo reversível
- Laminador Trio
- Laminador Quádruo
- Laminador Sendzimir
- Laminador Universal

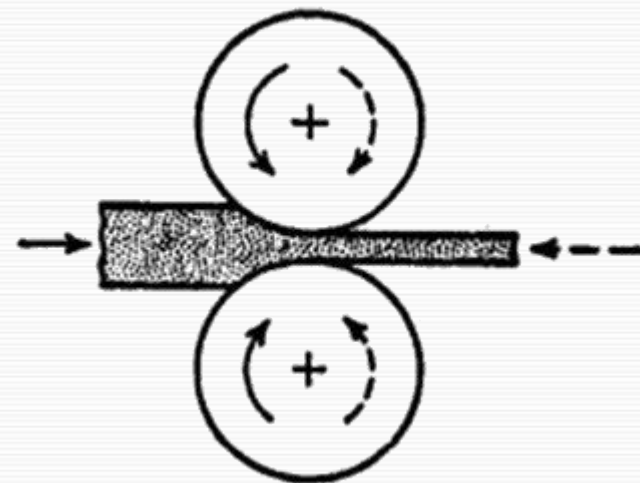
Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao número de cilindros



Laminador Duo

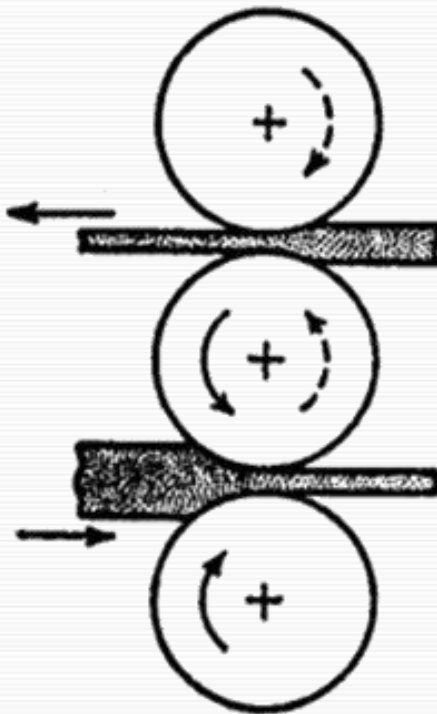


Laminador Duo
Reversível

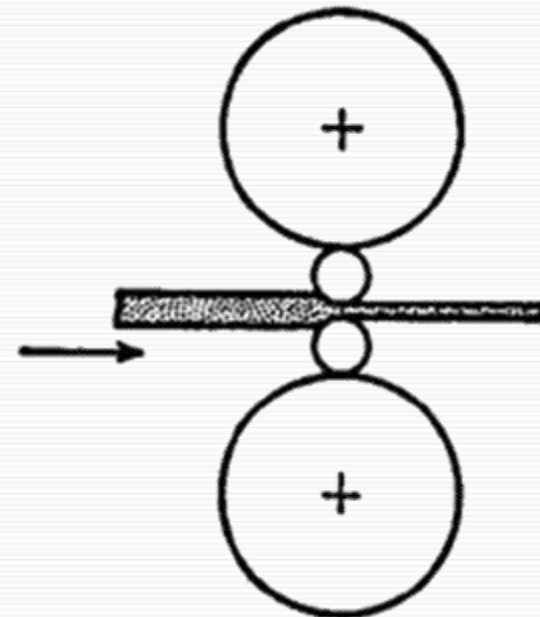
Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao número de cilindros



Laminador Trio

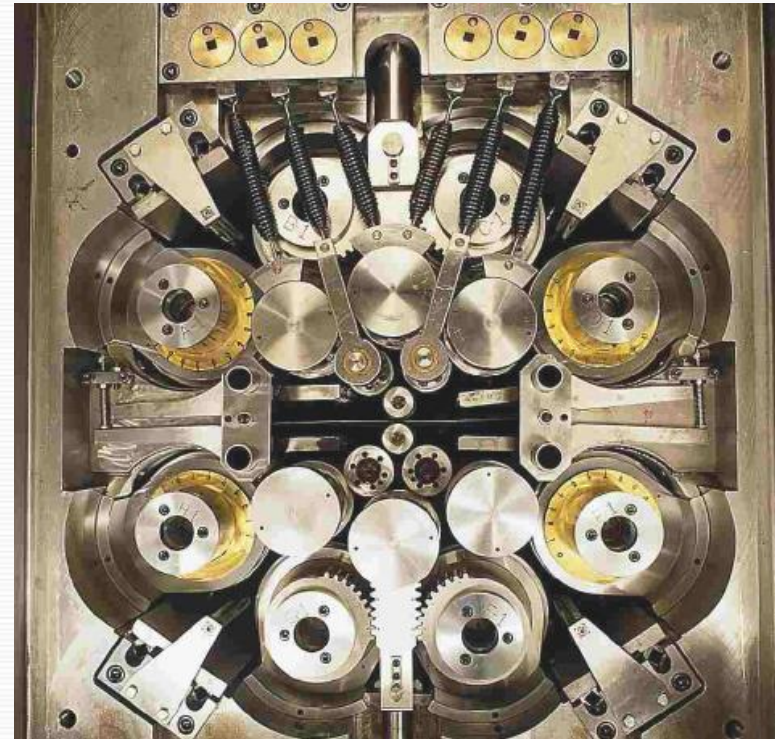
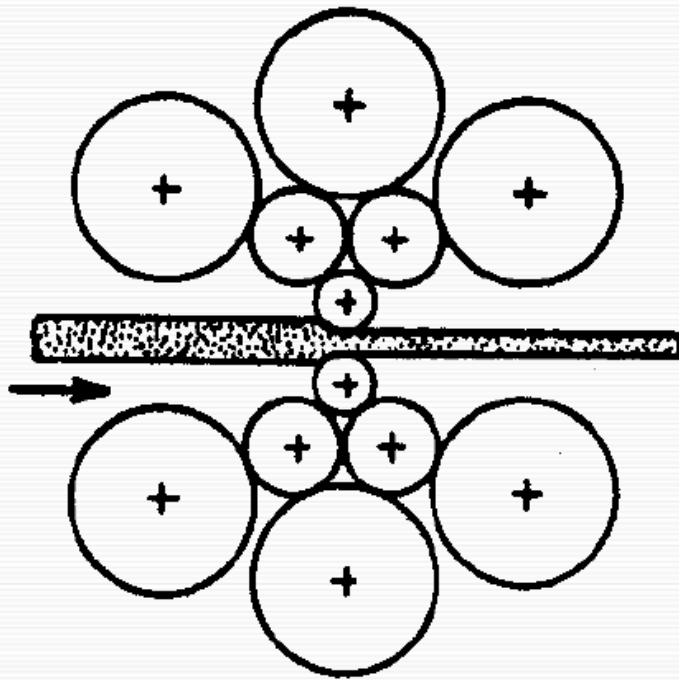


Laminador Quádruo

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao número de cilindros

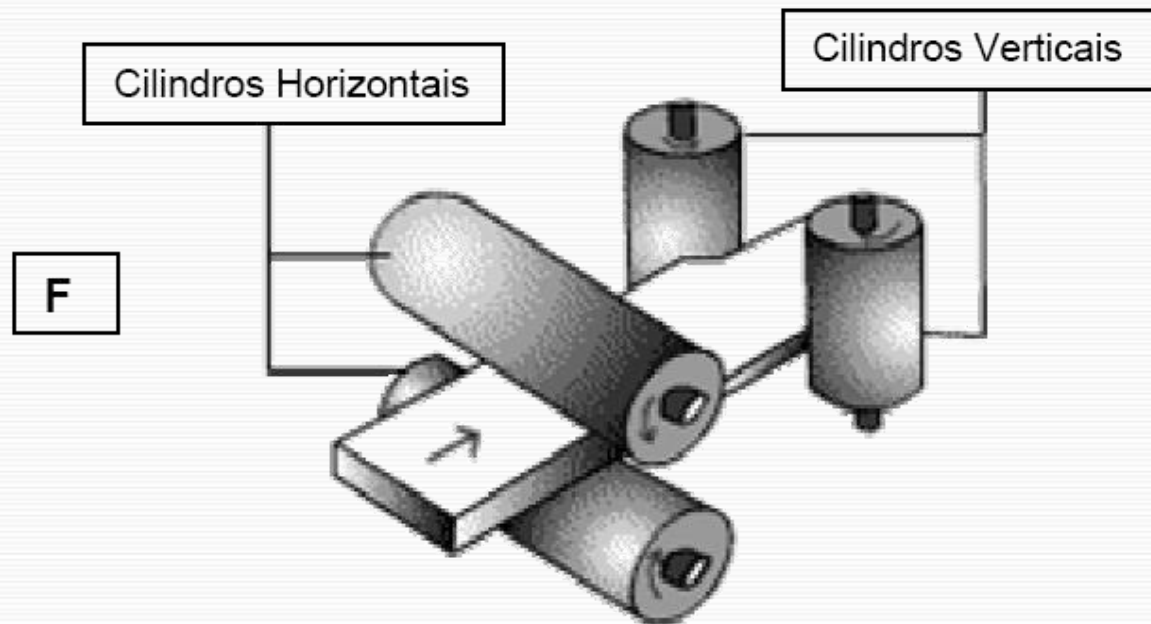


Laminador Sendzimir

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao número de cilindros



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

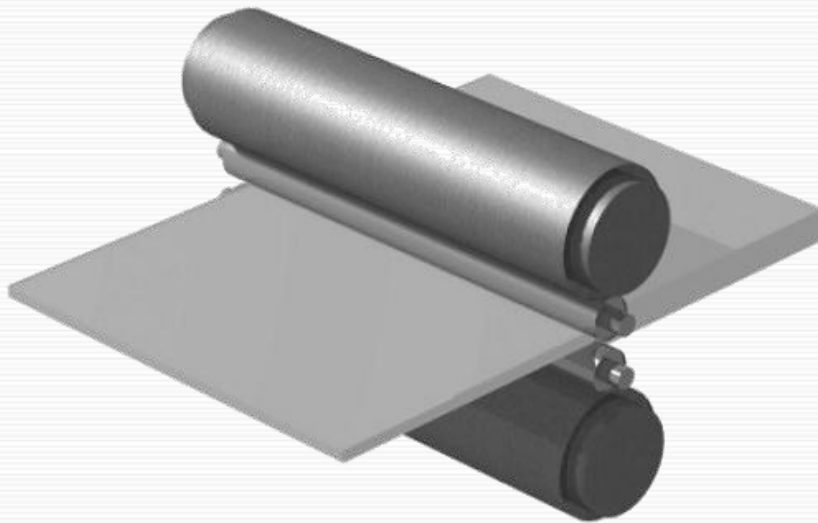
CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao formato da mesa

- Com mesa plana
- Com mesa ranhurada (para perfis)
- Com mesa escalonada (para perfis)
- Com mesa cônica (para tubos)
- Com mesa excêntrico
- Com mesa de rolos planetários

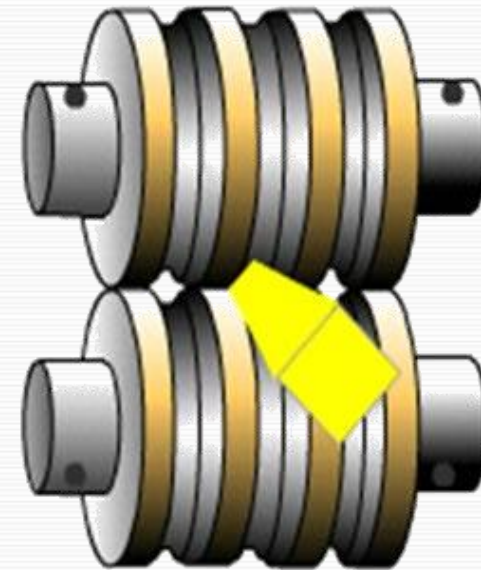
Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao formato da mesa



**Laminador com
mesa plana**

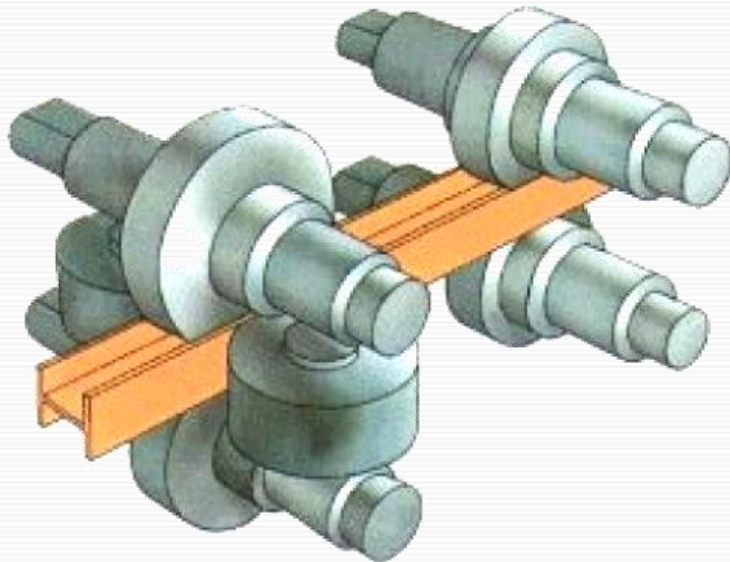


**Laminador com
mesa ranhurada**

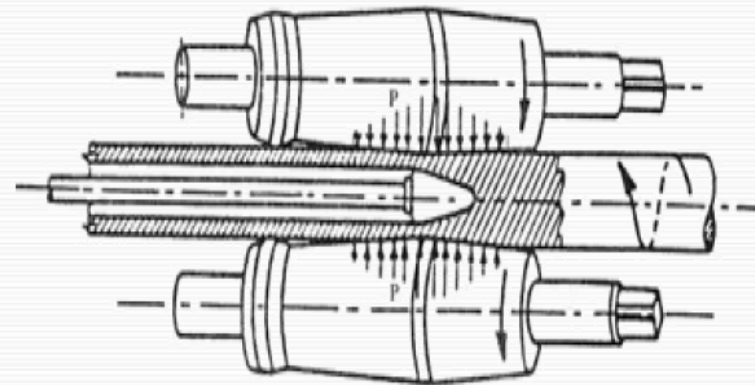
Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao formato da mesa



**Laminador com
mesa escalonada**

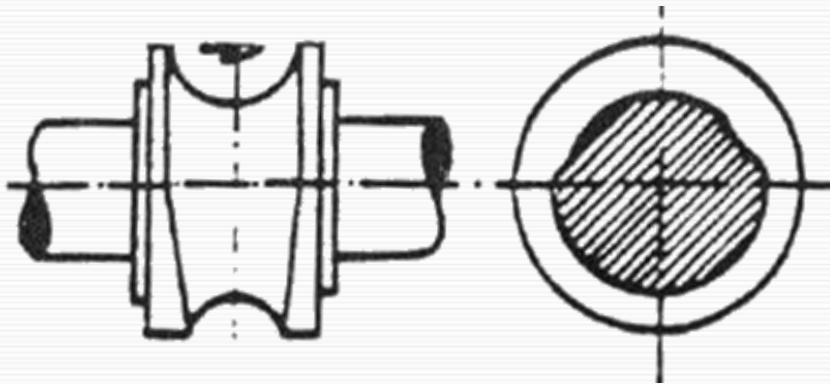


**Laminador com
mesa cônica**

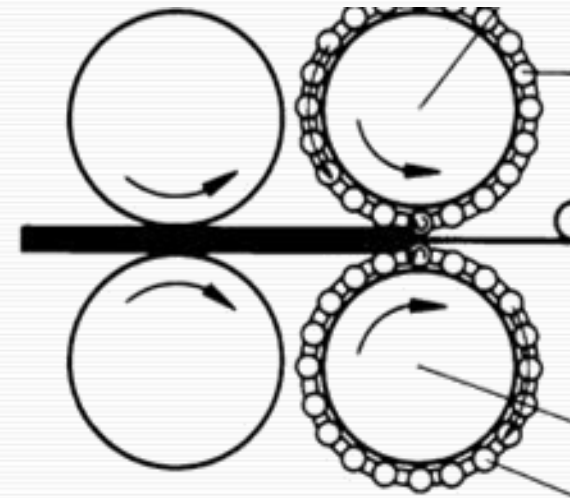
Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO – Quanto ao formato da mesa



**Laminador com
mesa excêntrica**

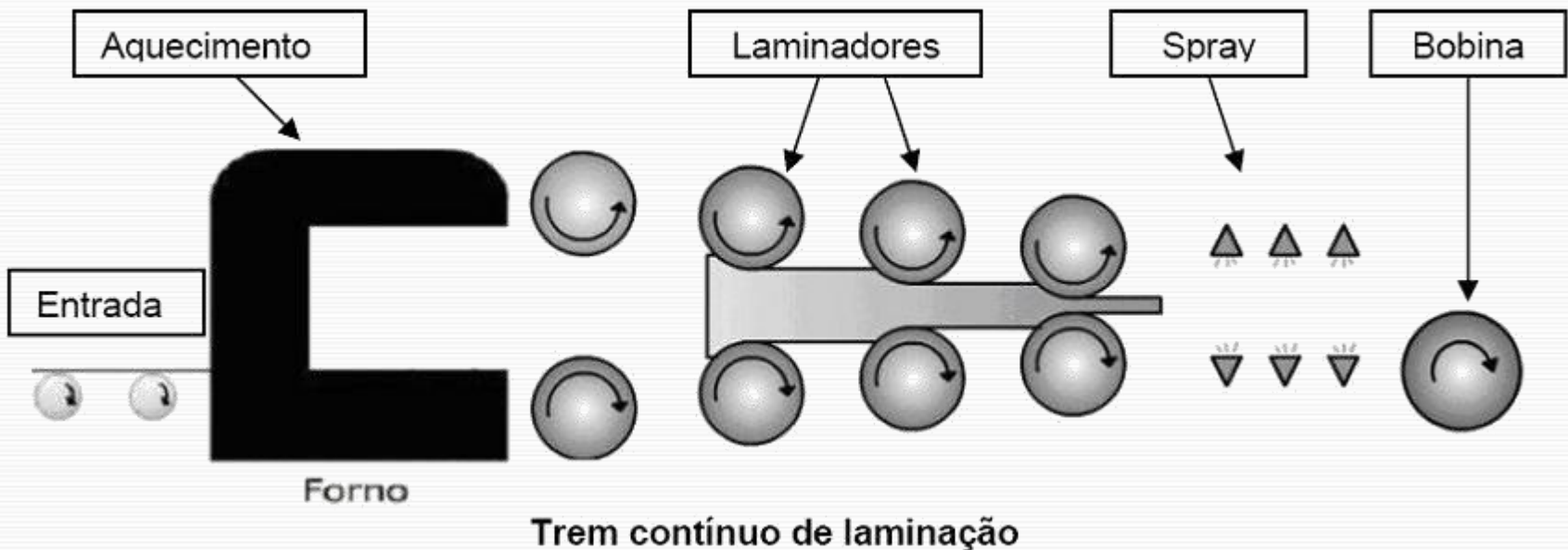


**Laminador com mesa
de rolos planetários**

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Temperatura de trabalho – Laminação a Quente



Matéria-prima: lingotes fundidos, placas e tarugos laminados

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Temperatura de trabalho – Laminação a Quente

- Preparação, “desbaste”;
- Grandes deformações;
- Grandes dimensões;
- Geometrias complexas;
- Produtos semi-acabados;

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Temperatura de trabalho – Laminação a FRIO

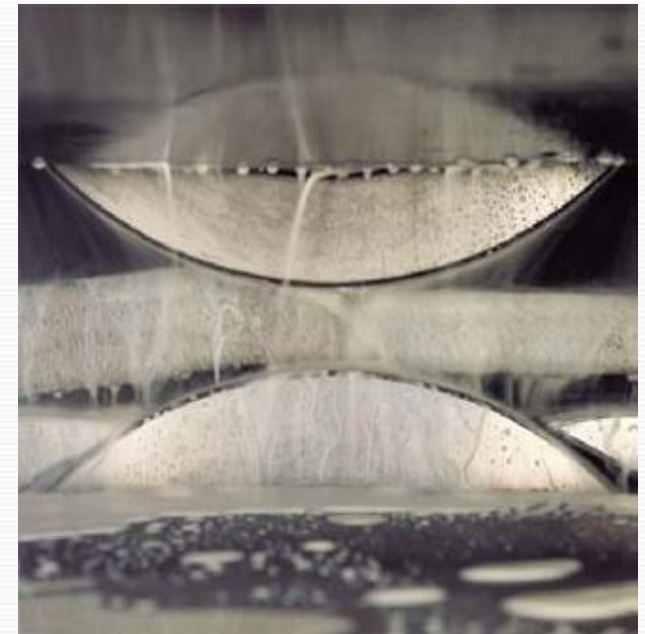
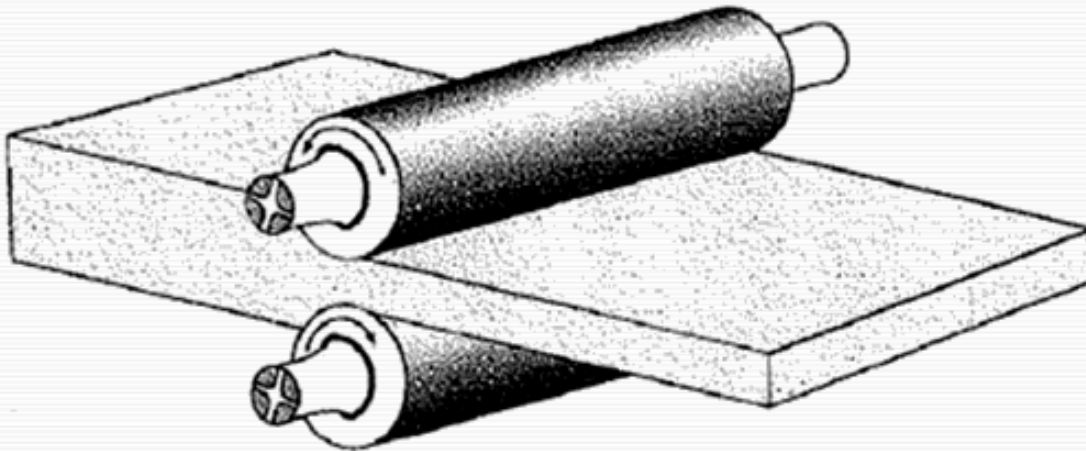
Matéria-prima: chapas e barras laminadas a quente e posteriormente decapadas,

- Operações de acabamento;
- Pequenas deformações;
- Boas tolerâncias dimensionais;
- Aumento da LE por encruamento
- Produtos acabados.

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Processo de laminação



Laminação de produtos planos

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Processo de laminação

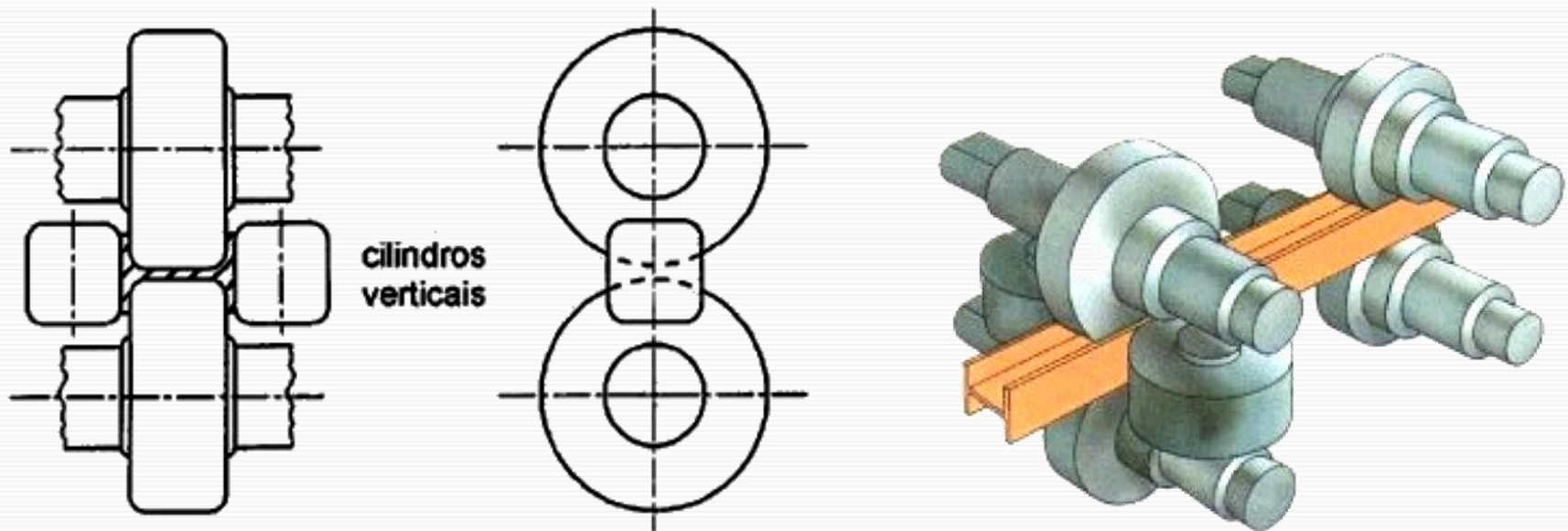


Laminação de produtos planos

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Processo de laminação

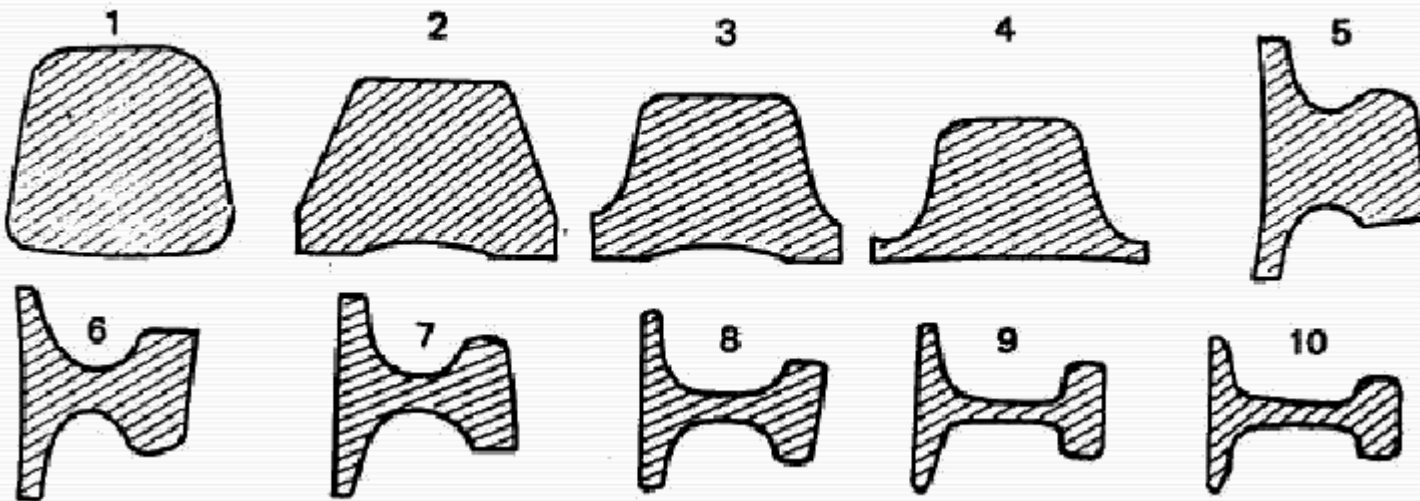


Laminação de perfis a partir de tarugos

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Processo de laminação

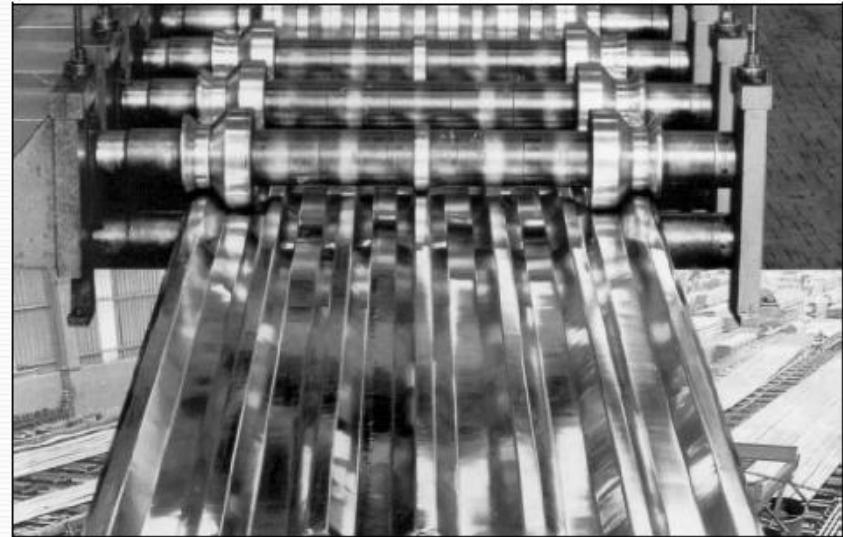
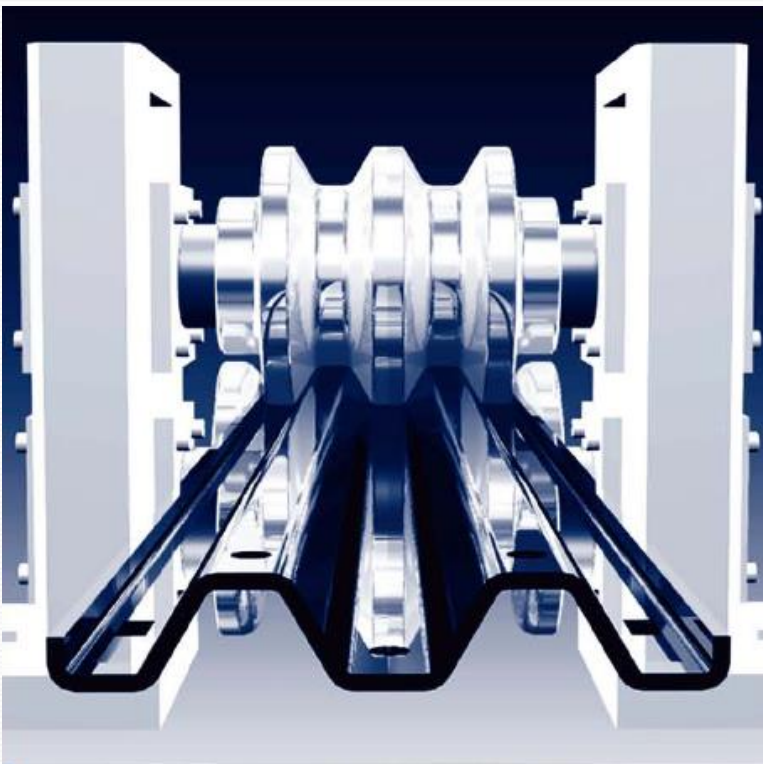


Laminação de perfis a partir de tarugos

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

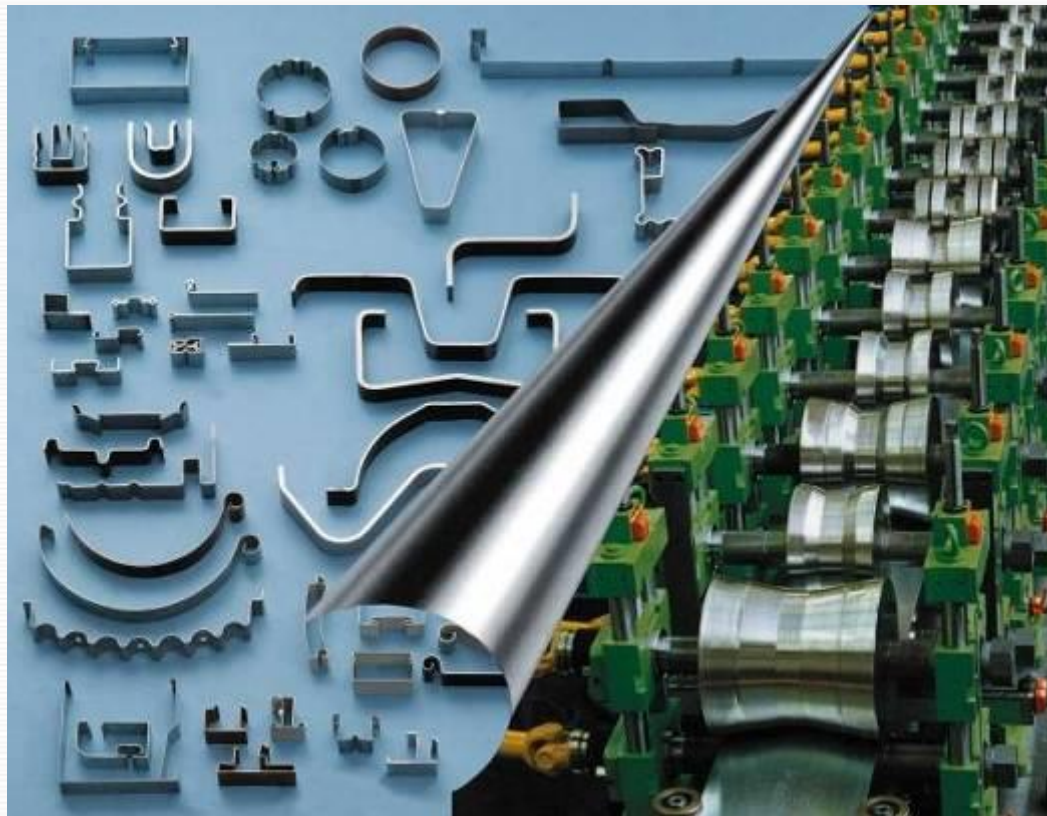
Processo de laminação



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

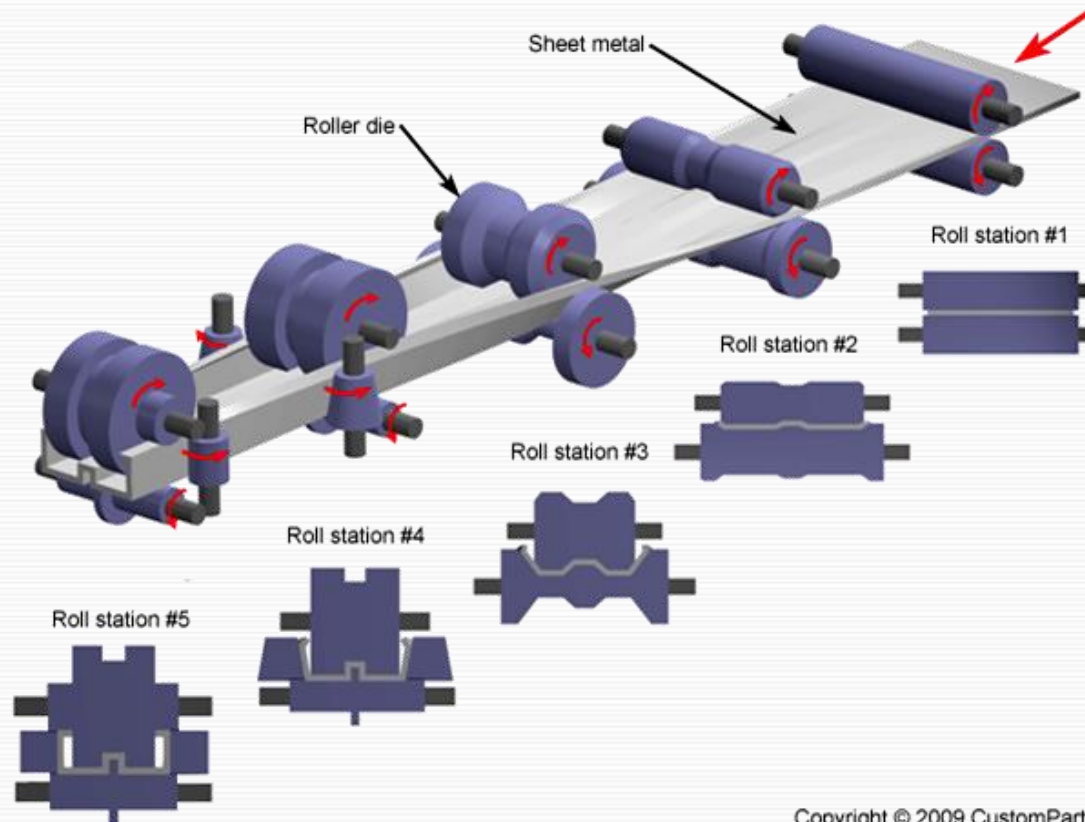
Processo de laminação



Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Processo de laminação



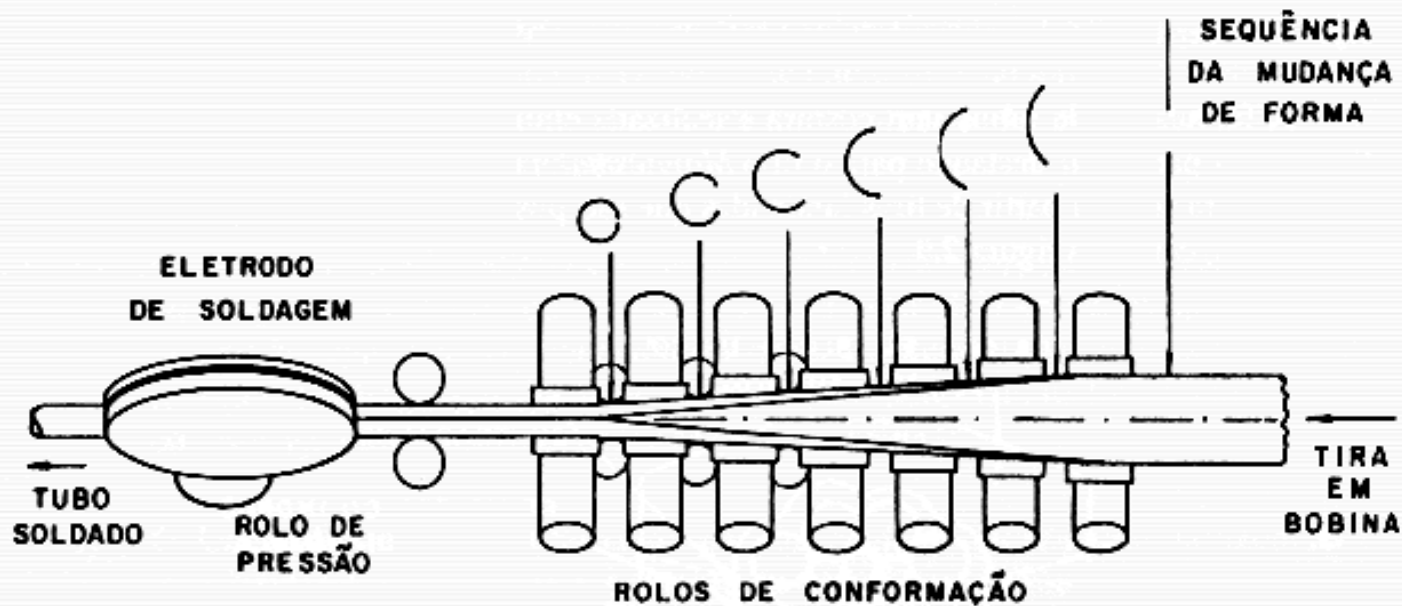
Copyright © 2009 CustomPartNet

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Processo de laminação

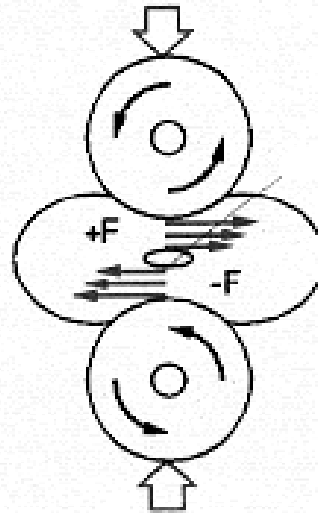
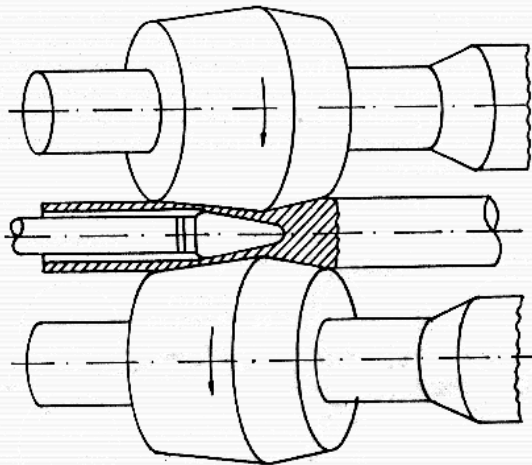
Tubos com diâmetro interno entre **10 e 114 mm**
e espessura de parede entre **2 e 5 mm**



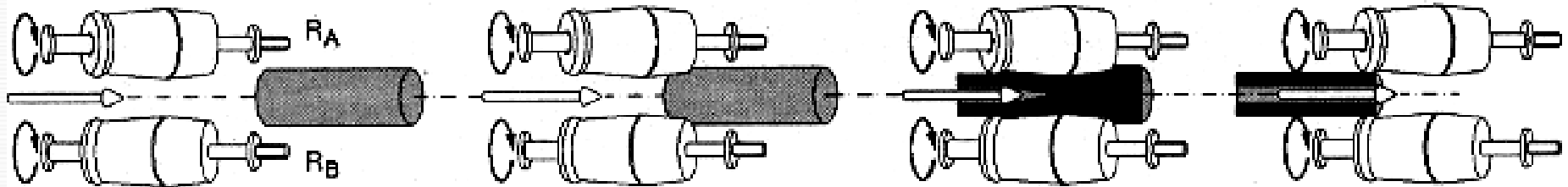
Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Processo de laminação



Tubos com
diâmetro interno
entre **57 e 426 mm**,
com espessura
entre **3 e 30 mm**

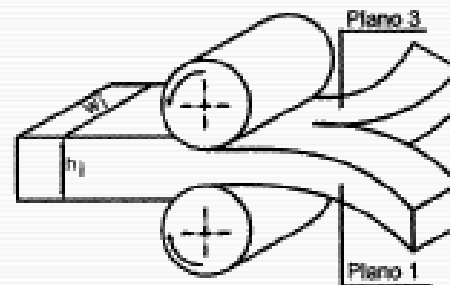
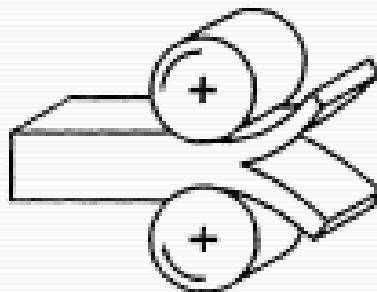


Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Defeitos em produtos Laminados

1. **Vazios**: podem ter origem na fundição permanecendo após a laminação;
2. **Gotas frias**: são respingos de metal que se solidificam na parede da lingoteira e se aderem posteriormente ao material;
3. **Trincas**: Aparecem no próprio lingote ou durante as operações de redução que acontecem em temperatura inadequada ou em reduções excessivas;

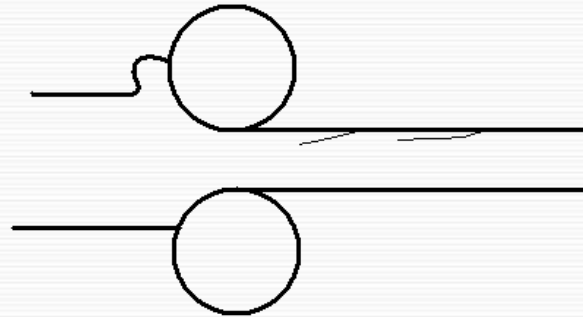


Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Defeitos em produtos Laminados

4. **Dobras:** são provenientes de reduções excessivas em que um excesso de massa metálica ultrapassa os limites do canal e sofre recalque no passe seguinte;



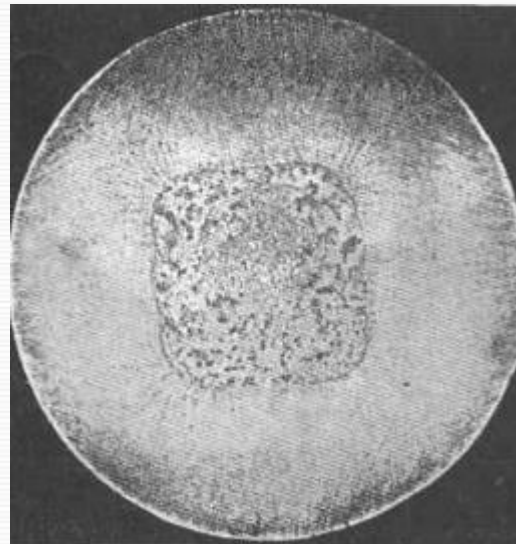
5. **Inclusões:** são partículas resultantes da combinação de elementos presentes na composição química do lingote, ou do desgaste de refratários e cuja presença pode causar discontinuidades na superfície;

Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Defeitos em produtos Laminados

- 6. Segregação:** acontecem pela concentração de alguns elementos nas partes mais quentes do lingote, as últimas a se solidificarem. Elas acarretam heterogeneidades no material e tendem a diminuir as propriedades mecânicas dos produtos laminados;

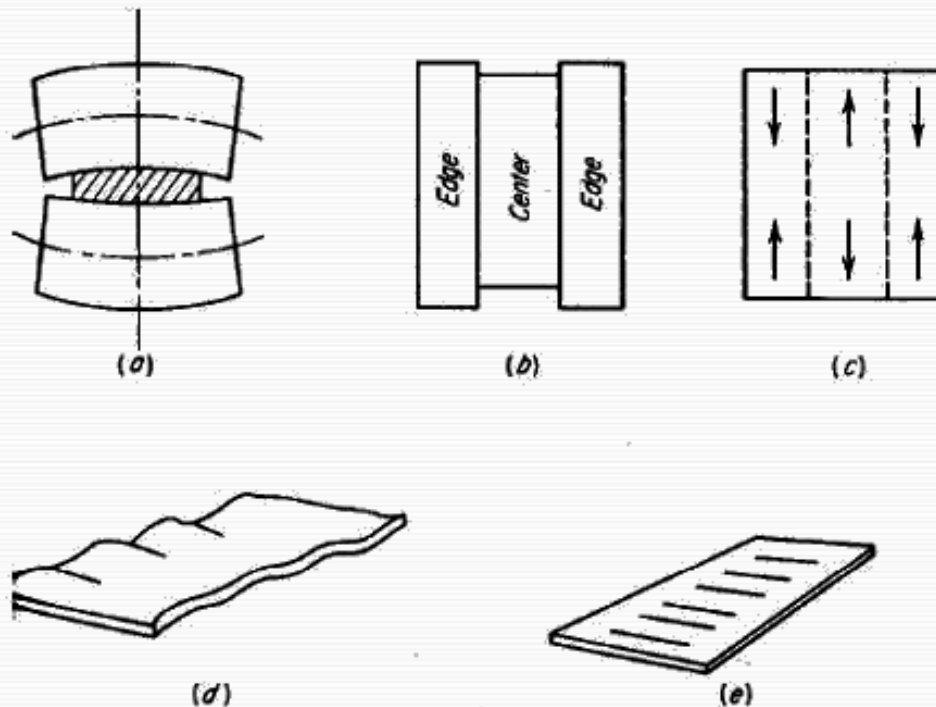


Conformação Mecânica

LAMINAÇÃO

Defeitos em produtos Laminados

7. **Outros:** o produto pode empenar ou retorcer por conta da não uniformidade de deformação ao longo do cilindro;



Conformação Mecânica

PROCESSO DE FORJAMENTO

Conformação Mecânica

FORJAMENTO



O forjamento consiste na deformação de um metal sob ação de **compressão direta** de tal modo que o mesmo tenda a assumir o contorno ou perfil da ferramenta de trabalho com superfície geralmente plana ou côncava.

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Histórico

- O forjamento é o mais antigo processo de conformar metais, tendo suas origens no trabalho dos ferreiros de muitos séculos a.C.
- A substituição do braço do ferreiro ocorreu nas primeiras etapas da revolução industrial
- Atualmente existem um variado maquinário capaz de produzir peças de várias formas e tamanhos: alfinetes, pregos, parafusos, roletes de turbinas, asas de avião...

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Vantagens

- **Componentes com boas tolerâncias dimensionais**
- **Peças com excelentes propriedades mecânicas (boa resist. Mecânica, ductilidade, tenacidade e resist à fadiga)**
- **Bom aproveitamento de matéria-prima;**
- **Bom controle da sequência de fabricação (boa repetibilidade)**
- **Custos relativamente baixos de produção.**

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Exemplos de peças obtidas



Cubos e Biela



Divisória de titânio do avião F-22

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

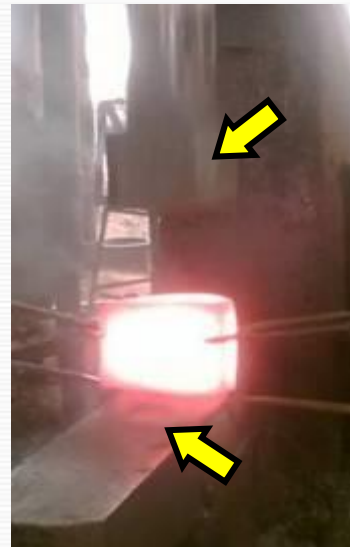
A maioria das operações de forjamento é realizada a quente, porém uma grande variedade de peças de pequenas dimensões, podem ser produzidas por forjamento a frio.



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

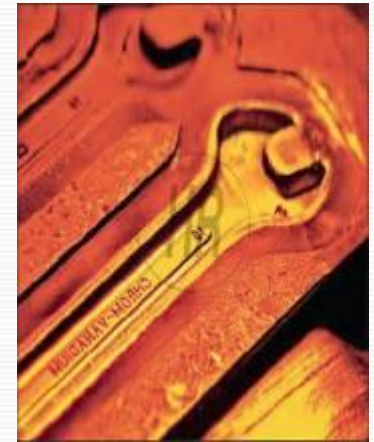
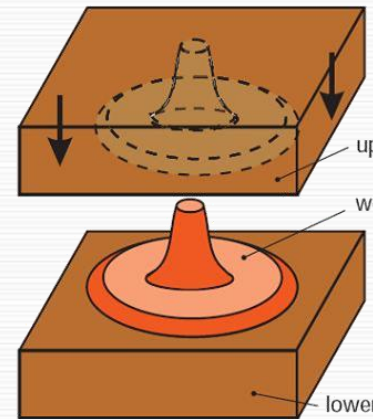
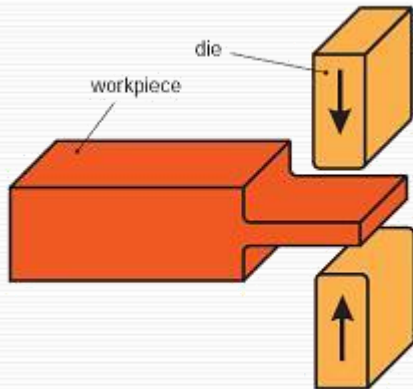
Na maioria das operações de forjamento emprega-se um **ferramental** constituído por um par de ferramentas de superfície plana ou côncava, denominadas **matrizes** ou **estampos**



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Tipos



**Em matriz aberta
(forjamento livre)**

Em matriz fechada

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Etapas típicas do processo de forjamento

1. Corte do material;
2. Aquecimento (para forjamento a quente);
3. Pré-conformação mediante operações de forjamento livre (conformação intermediária);
4. Forjamento em matriz (uma ou mais etapas);
5. Rebarbação;
6. Tratamento térmico (alívio de tensões, homogeneização da microestrutura, melhoria da usinabilidade e prop. mecânicas).

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Aplicação do carregamento compressivo

A compressão é aplicada por meio de:

1. **GOLPES:** (p. ex.: martelos)
2. **CONTÍNUA:** (p. ex.: prensas hidráulicas)

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Aplicação do carregamento compressivo

Os equipamentos são divididos em:

1. MARTELOS

- De queda livre
- Mecânicos
- Pneumáticos

Energia restrita

2. PRENSAS

- Mecânicas
- Hidráulicas

Curso restrito

Carga restrita

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Aplicação do carregamento compressivo - MARTELOS

- São os equipamentos mais baratos para forjamento em matriz
- Grande versatilidade
- Segurança de trabalho (vários golpes: menor risco de sobrecarga)

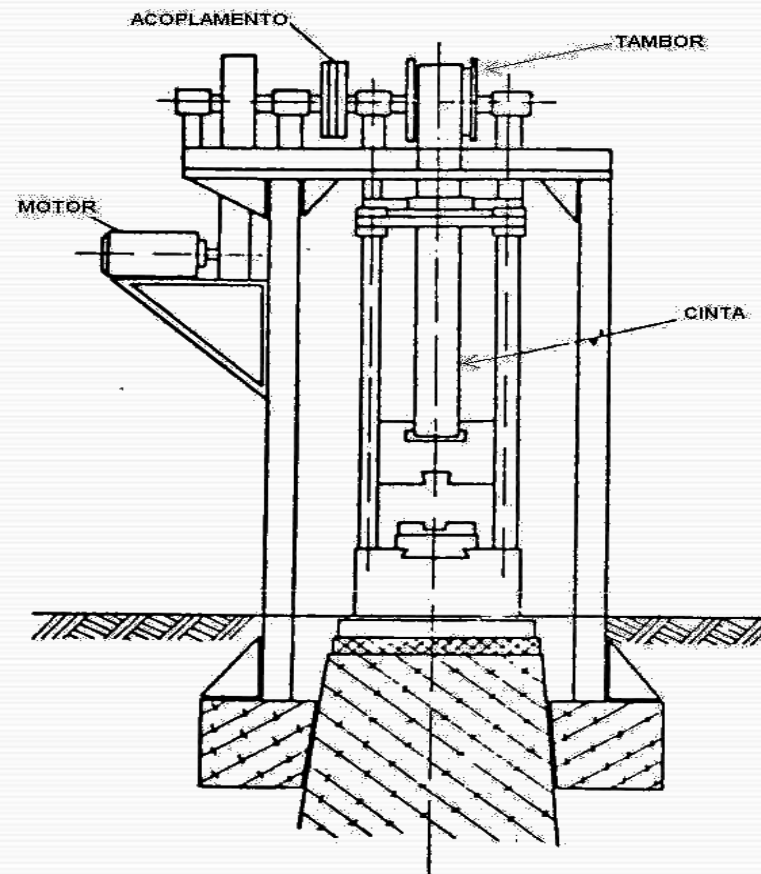
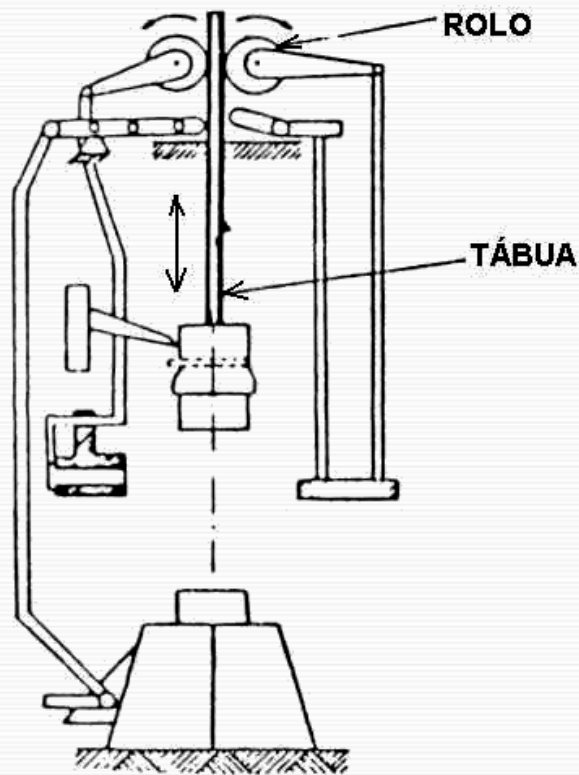
TIPOS

- Martelos de queda livre
- Martelos de queda acelerada
- Martelos de contragolpe

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

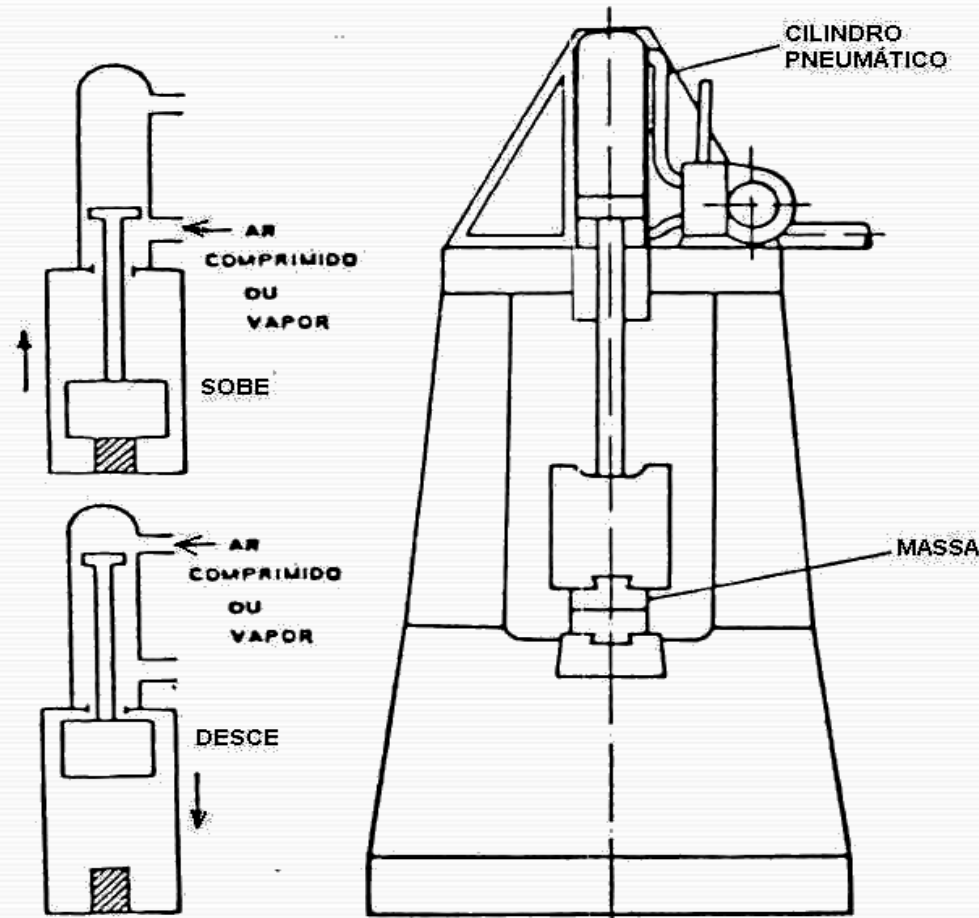
Aplicação do carregamento compressivo - MARTELOS



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

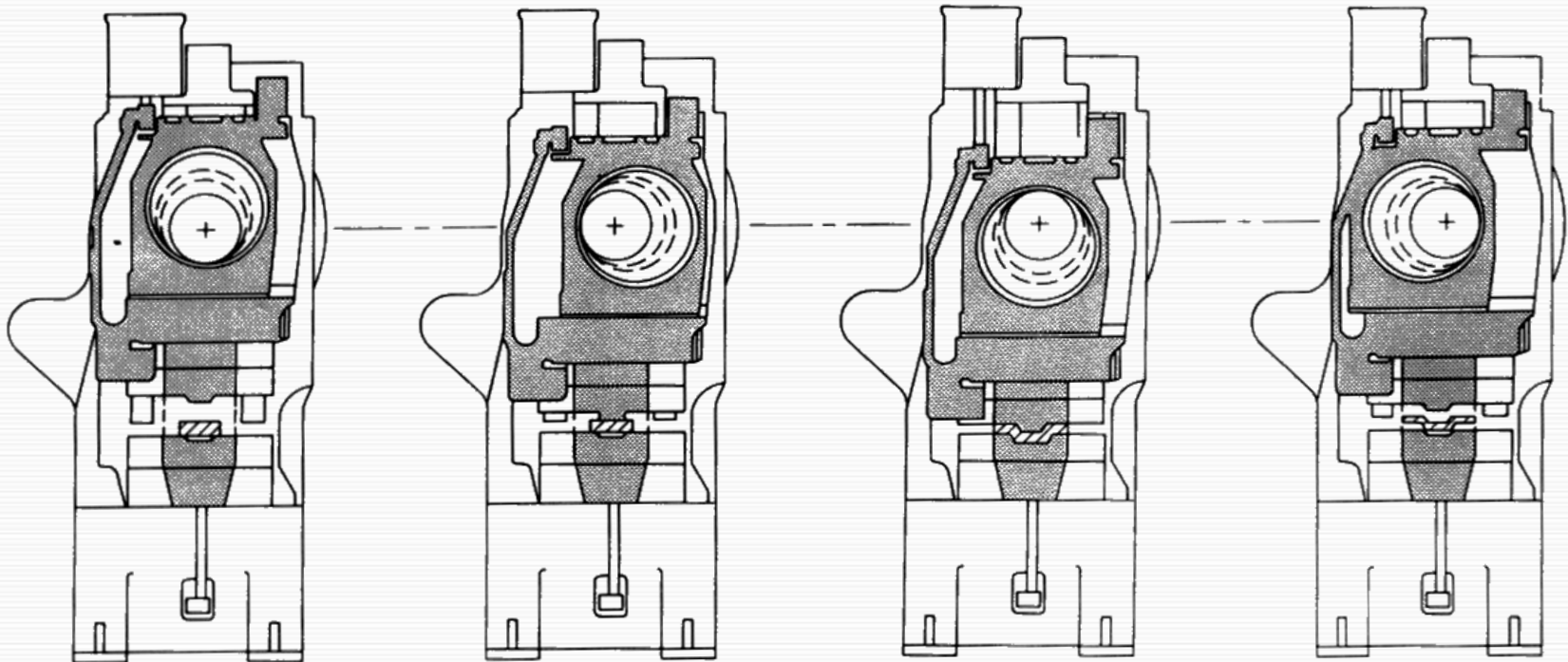
Aplicação do carregamento compressivo - MARTELOS



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Aplicação do carregamento compressivo - PRENSAS

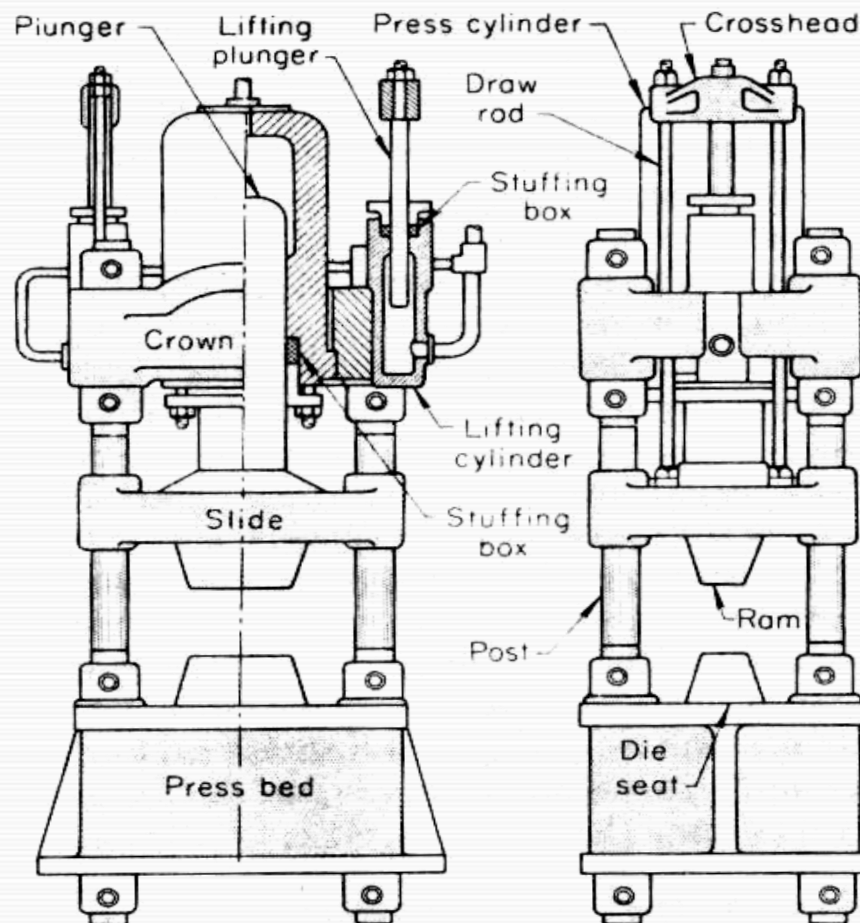


Prensa mecânica excêntrica

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Aplicação do carregamento compressivo - PRENSAS



**Prensa
Hidráulica**

Conformação Mecânica

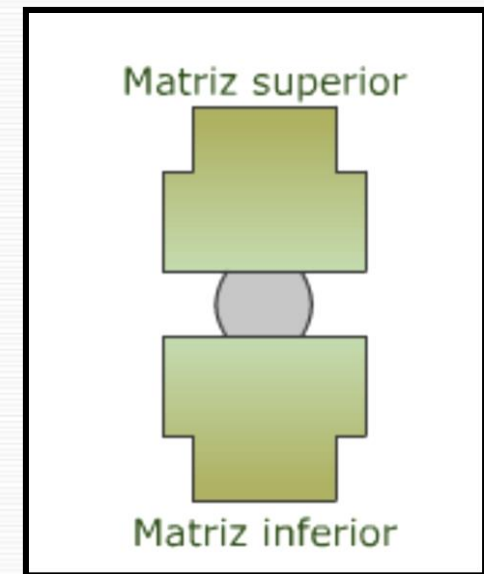
FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

O material é conformado entre matrizes planas ou de formato simples, que normalmente não se tocam.

É usado geralmente para

- fabricar peças grandes, com forma relativamente simples (p. ex., eixos de navios e de turbinas, ganchos, correntes, âncoras, alavancas, excêntricos, ferramentas agrícolas, etc.) e em pequeno número;
- para pré-conformar peças que serão submetidas posteriormente a operações de forjamento mais complexas.



Conformação Mecânica

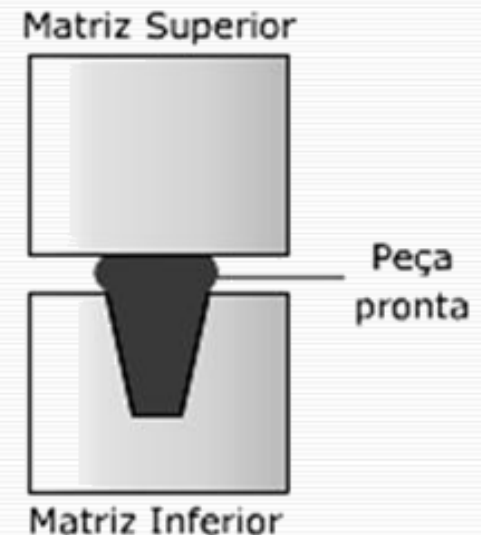
FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Recalque ou recalçamento

Compressão direta do material entre um par de ferramentas de face plana ou côncava, visando primariamente reduzir a altura da peça e aumentar a sua secção transversal.



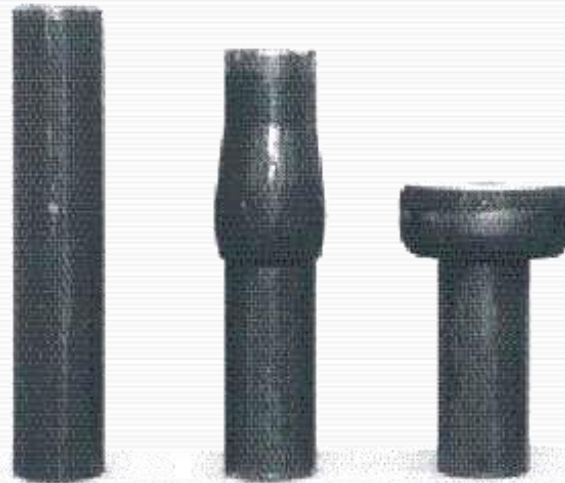
Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Recalque ou recalçamento



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Estiramento

Visa aumentar o comprimento de uma peça às custas da sua espessura



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Estiramento



Conformação Mecânica

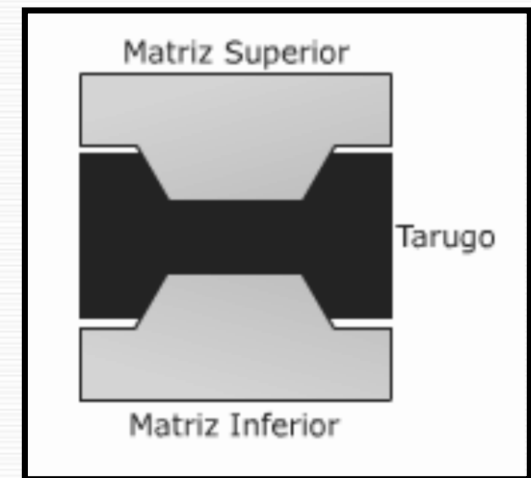
FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Encalcamento

Variedade de estiramento em que se reduz a secção de uma porção intermediária da peça, por meio de uma ferramenta ou impressão adequada.



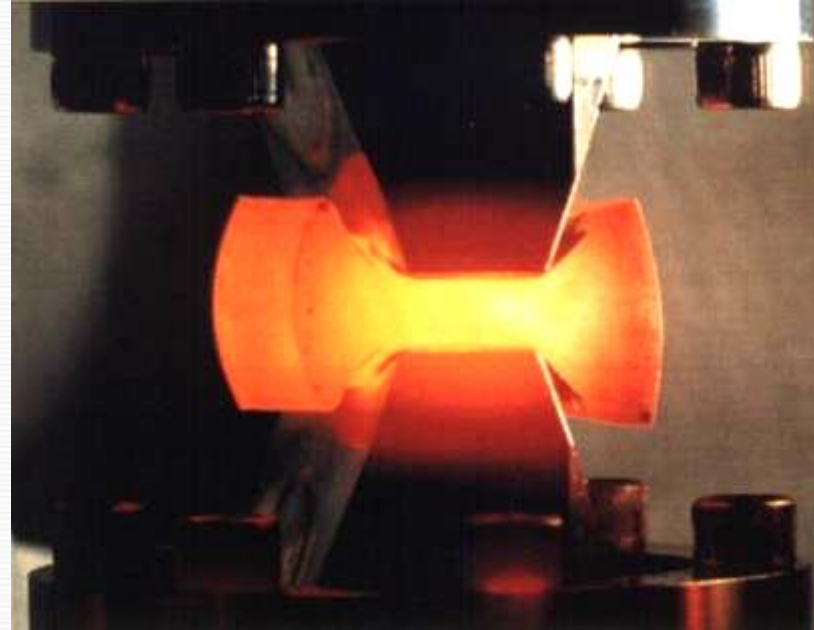
Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Encalcamento



Conformação Mecânica

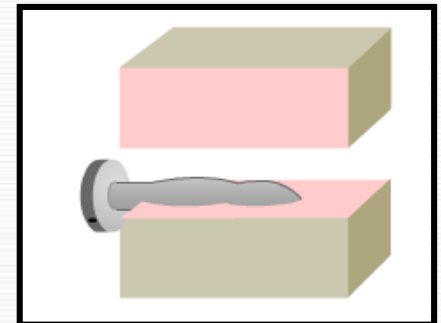
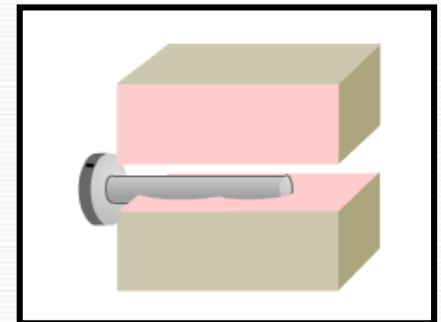
FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Rolamento

Operação de distribuição de massa ao longo do comprimento da peça, mantendo-se a secção transversal redonda enquanto a peça é girada em torno do seu próprio eixo.



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Rolamento



Conformação Mecânica

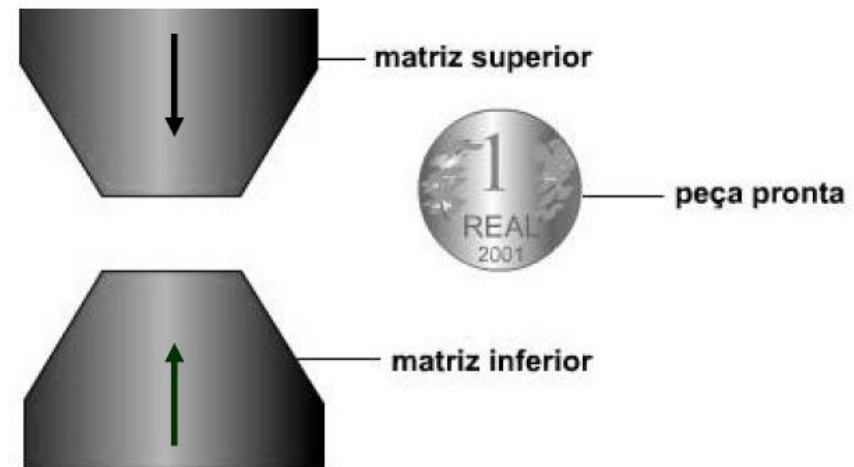
FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Cunhagem

Visa produzir uma impressão bem definida na superfície de uma peça, sendo usada para fabricar moedas, medalhas, talheres, e outras peças pequenas, bem como gravar detalhes de diversos tipos em peças maiores



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Cunhagem



Conformação Mecânica

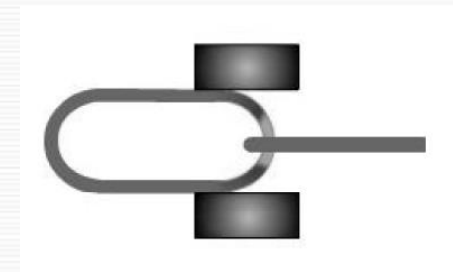
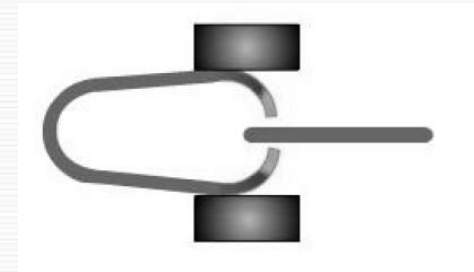
FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

TIPOS DE FORJAMENTO LIVRE

Caldeamento

Visa produzir a soldagem de duas superfícies metálicas limpas e aquecidas, colocadas em contato e submetidas à compressão



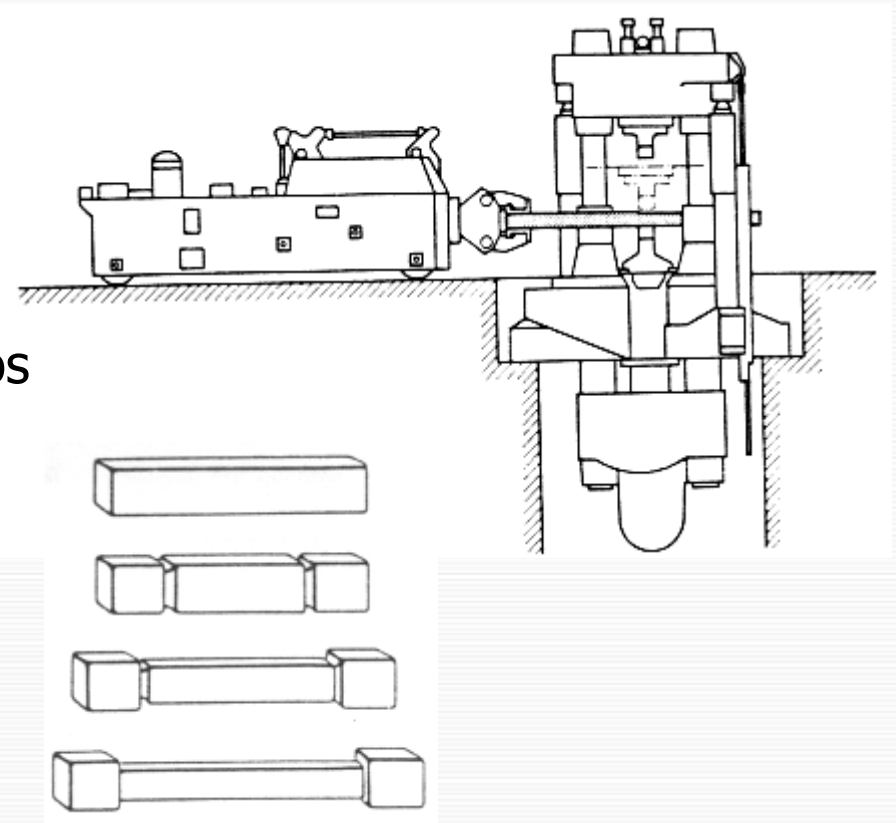
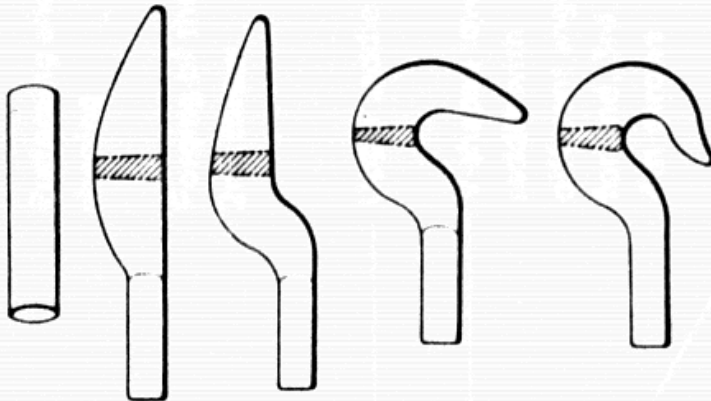
Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Aberta (Forjamento Livre)

COMBINAÇÃO DAS OPERAÇÕES

- formas regulares (anéis, eixos)
- peças de grandes dimensões
- baixa produtividade
- normalmente realizado em martelos

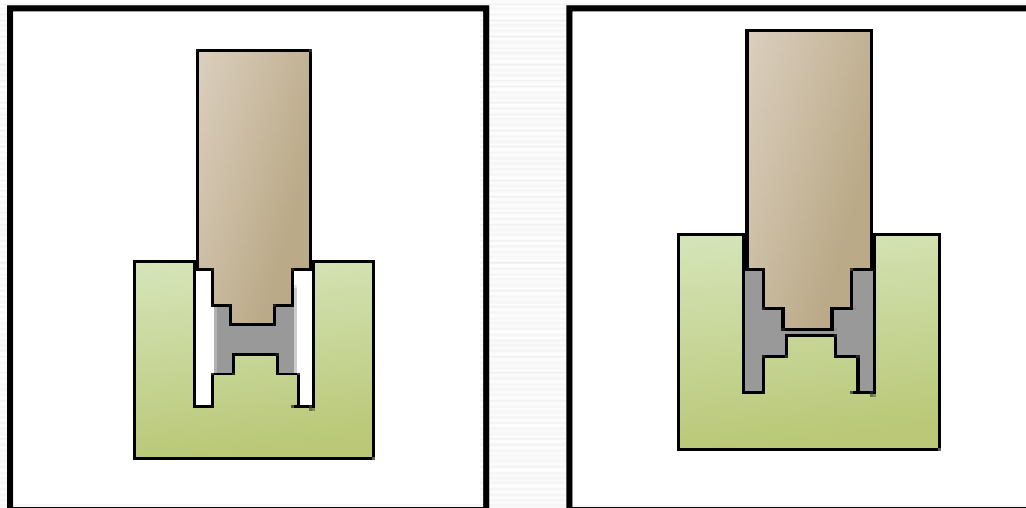


Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada

Peças de formas complexas ou de precisão não podem ser obtidas por técnicas de forjamento livre, exigindo matrizes especialmente preparadas que contenham o negativo (ou contorno) da peça a ser produzida.



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada

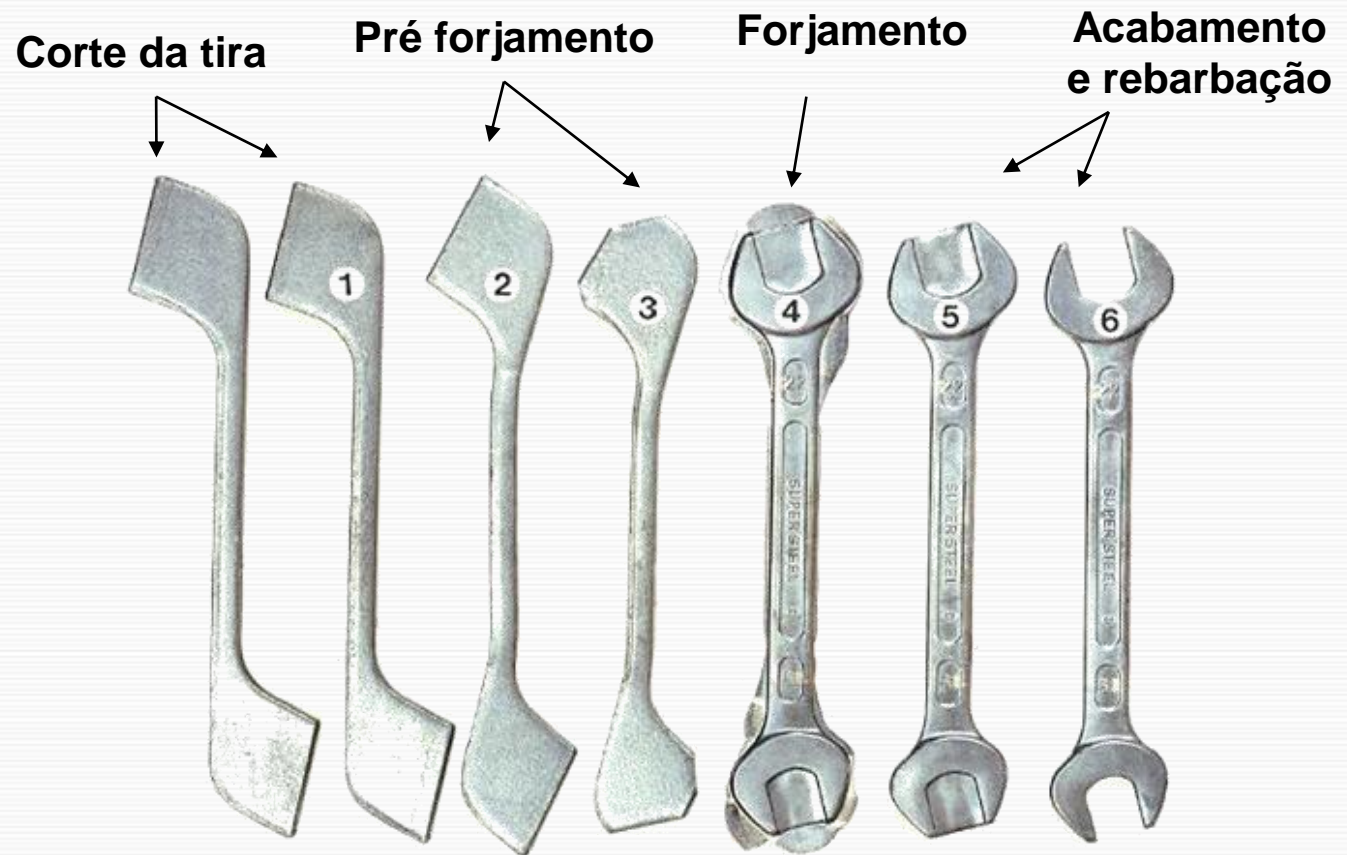
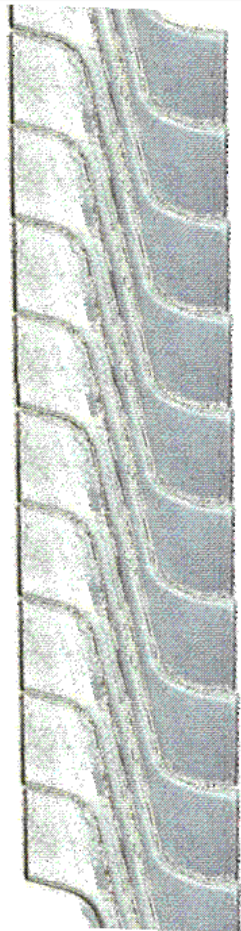
A obtenção de um formato complexo normalmente não é possível com uma única etapa de trabalho, exigindo uma ou mais etapas de pré-forjamento.

As etapas de pré-forjamento podem ser efetuadas com o auxílio de superfícies especialmente usinadas no próprio bloco das matrizes, ou em equipamento separado, ou mesmo por meio de outros processos como a laminação.

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada

VANTAGENS

- para peças de geometrias complexas;
- alta produtividade;
- maior homogeneidade estrutural;
- melhor qualidade dimensional;
- normalmente realizado em prensas;

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada

LIMITAÇÕES

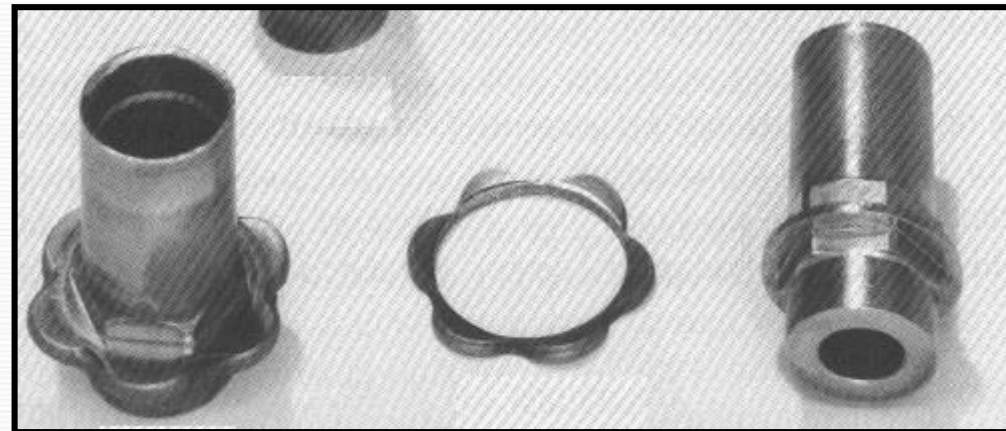
- Dada a dificuldade de dimensionar a quantidade exata fornecida de material, é mais comum empregar um pequeno excesso.
- As matrizes são providas de uma zona oca especial para recolher o material excedente ao término do preenchimento da cavidade principal.
- O material excedente forma uma faixa estreita (rebarba) em torno da peça forjada.
- A rebarba exige uma operação posterior de corte (rebarbação) para remoção.

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada

FORMAÇÃO DA REBARBA



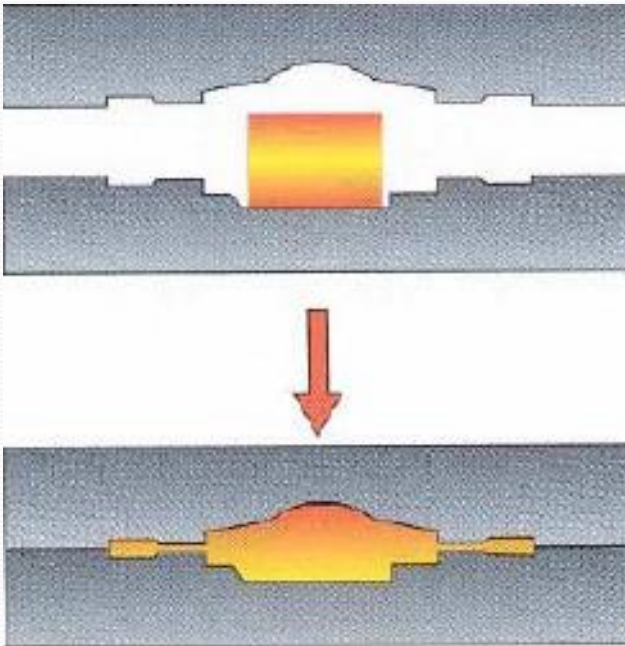
- Atuar como "válvula de segurança" para o excesso de metal na cavidade das matrizes; e
- Regular o escapamento do metal, aumentando a resist ao escoamento do sistema de modo que a pressão cresça até valores elevados, assegurando que o metal preencherá todos os recessos da cavidade.

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada

FORMAÇÃO DA REBARBA



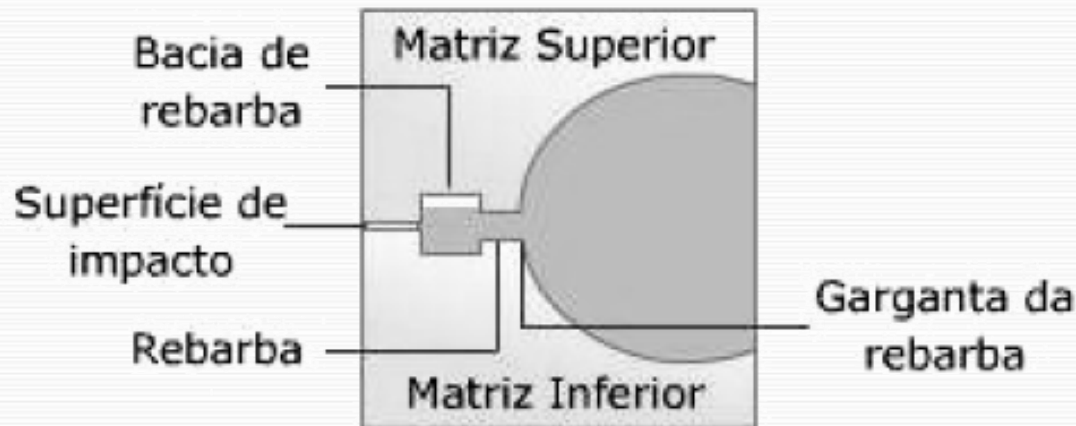
Rebarba!

1. região mais tensionada do forjado
2. garantir preenchimento correto das matrizes
3. escoar excesso de material do tarugo
4. acomodar defeitos de forjamento

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada

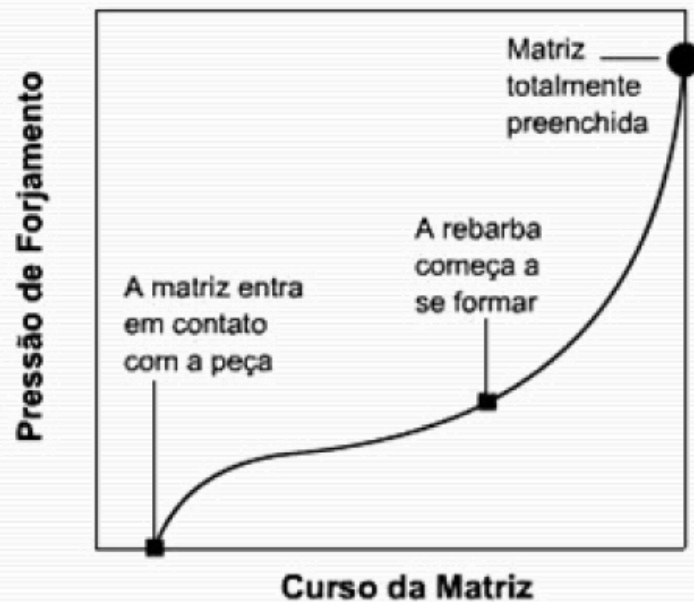


Procura-se dimensionar a garganta da rebarba de modo que a *extrusão* do metal através dela seja mais **DIFÍCIL** que o preenchimento do mais intrincado detalhe da matriz

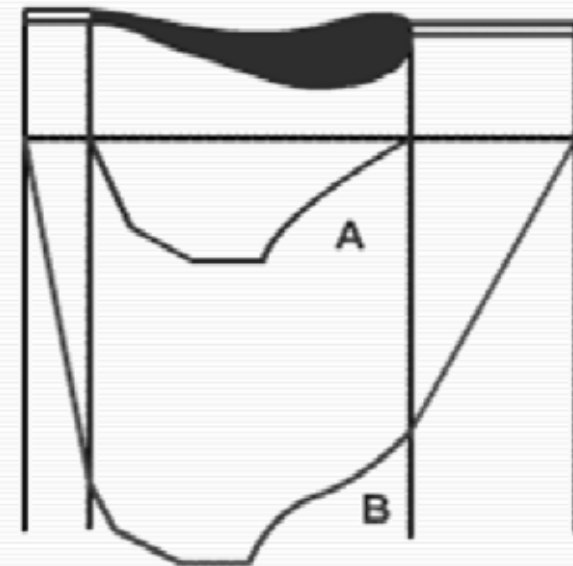
Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada



Curva típica de pressão de forjamento com formação de rebarba



A-sem formação de rebarba
B-com formação de rebarba

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada

Decomposição das etapas de forjamento

Utilizar várias etapas para forjar uma peça de geometria complexa permite reduzir custos com energia, material, desgaste de ferramenta e melhorando a qualidade dimensional do produto forjado.

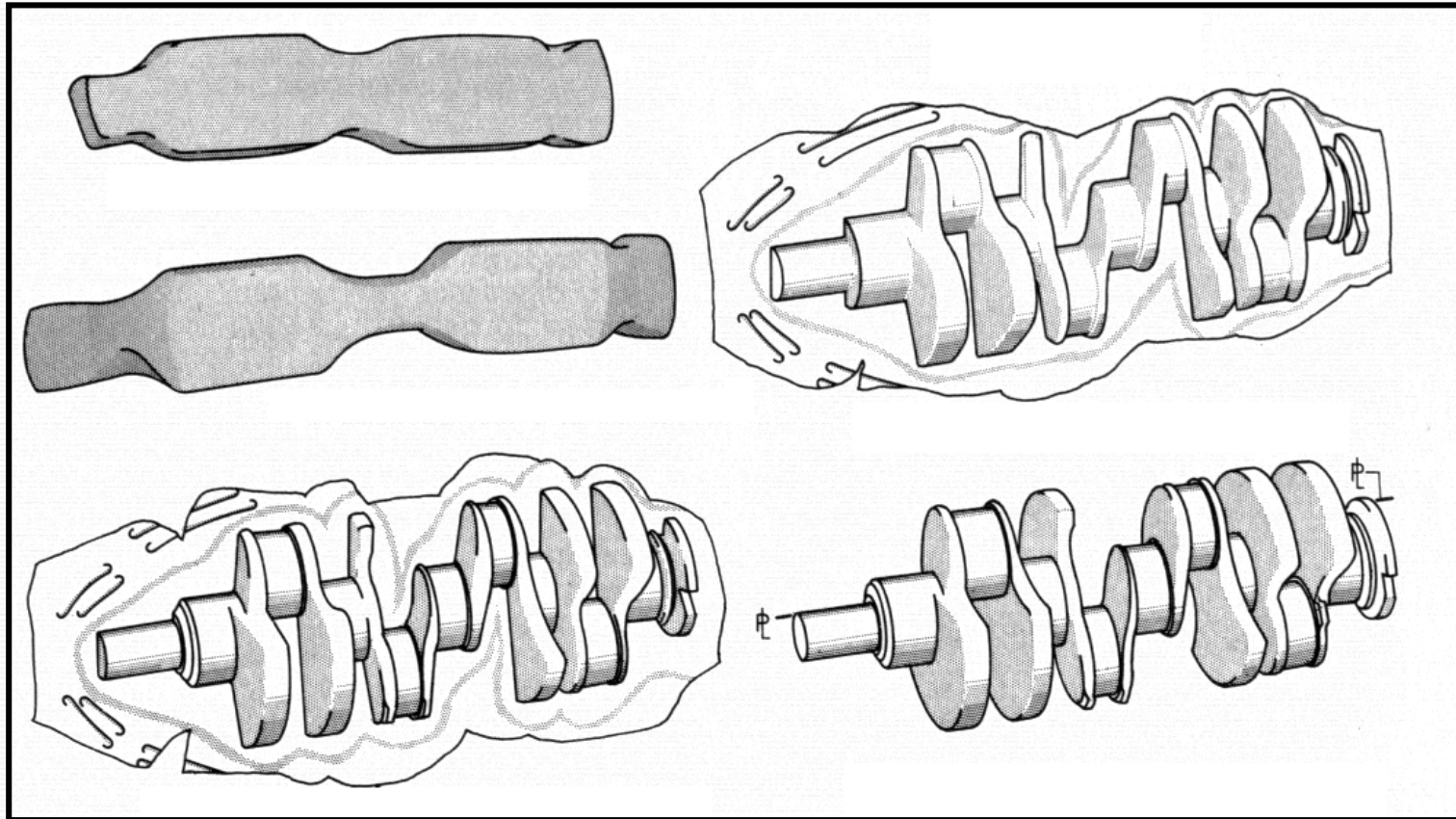
Etapas pré-forjamento

1. Distribuição de massas
2. Dobramento (se for o caso)
3. Esboço (formação da seção transversal)

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

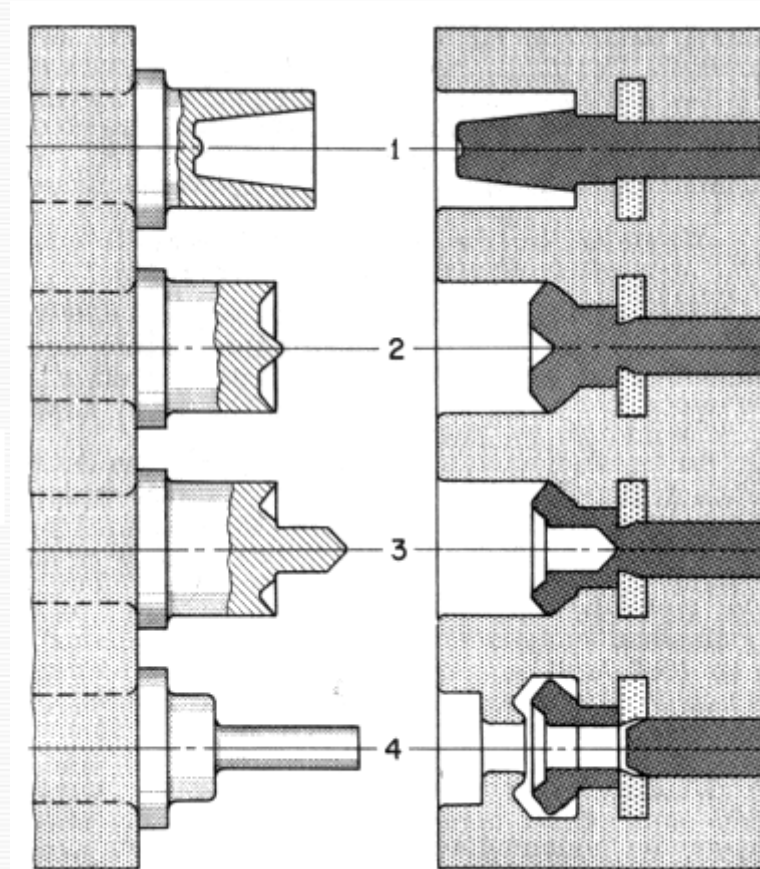
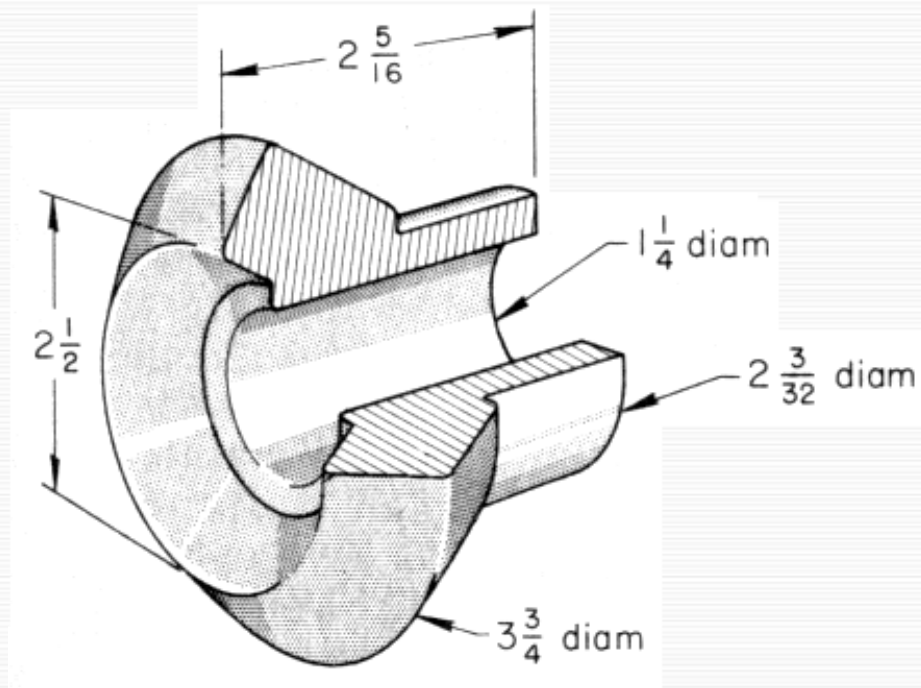
Processo em Matriz Fechada



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Processo em Matriz Fechada



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Defeitos típicos do forjamento

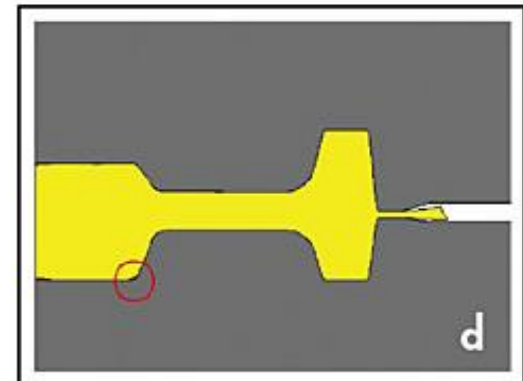
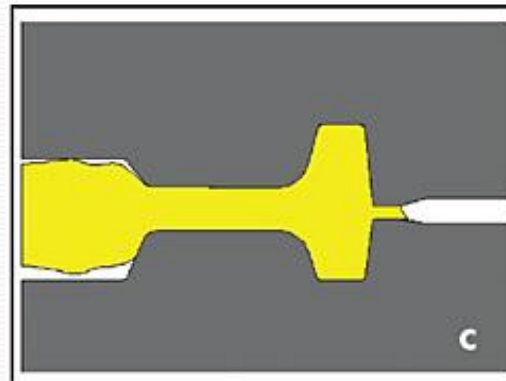
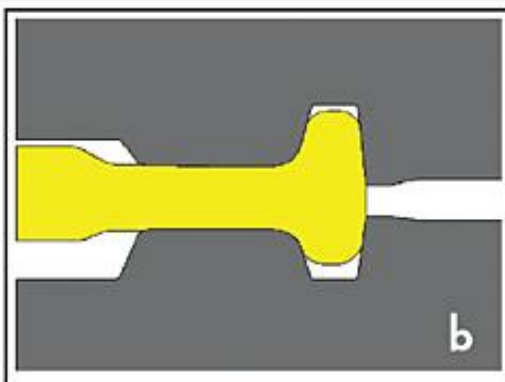
1. Falta de redução;
2. Trincas superficiais;
3. Trincas na rebarba;
4. Trincas internas;
5. Juntas frias;
6. Incrustações de óxidos;
7. Descarbonetação;
8. Queima.

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Defeitos típicos do forjamento

1. **Falta de redução** - caracteriza-se pela penetração incompleta do metal na cavidade da ferramenta. Isso altera o formato da peça e acontece quando são usados golpes rápidos e leves do martelo, quando a garganta da rebarba é mal dimensionada ou quando existem gases aprisionados.

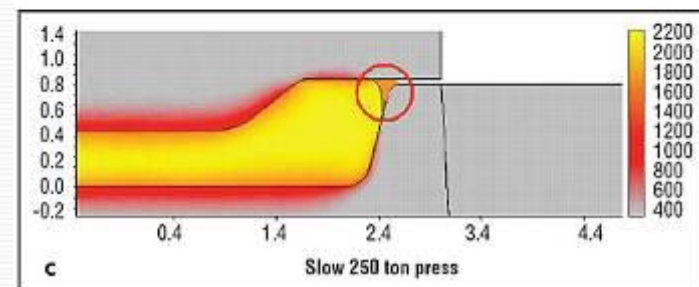
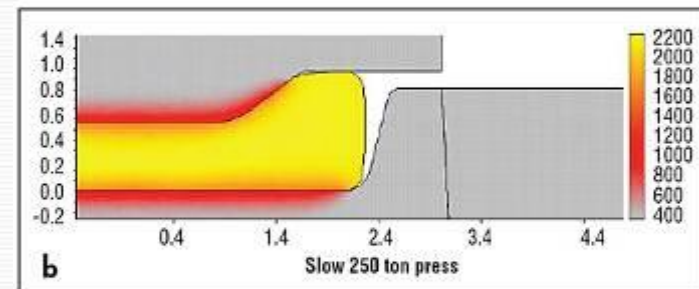
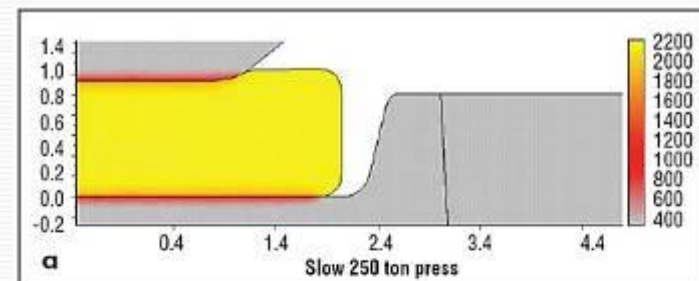
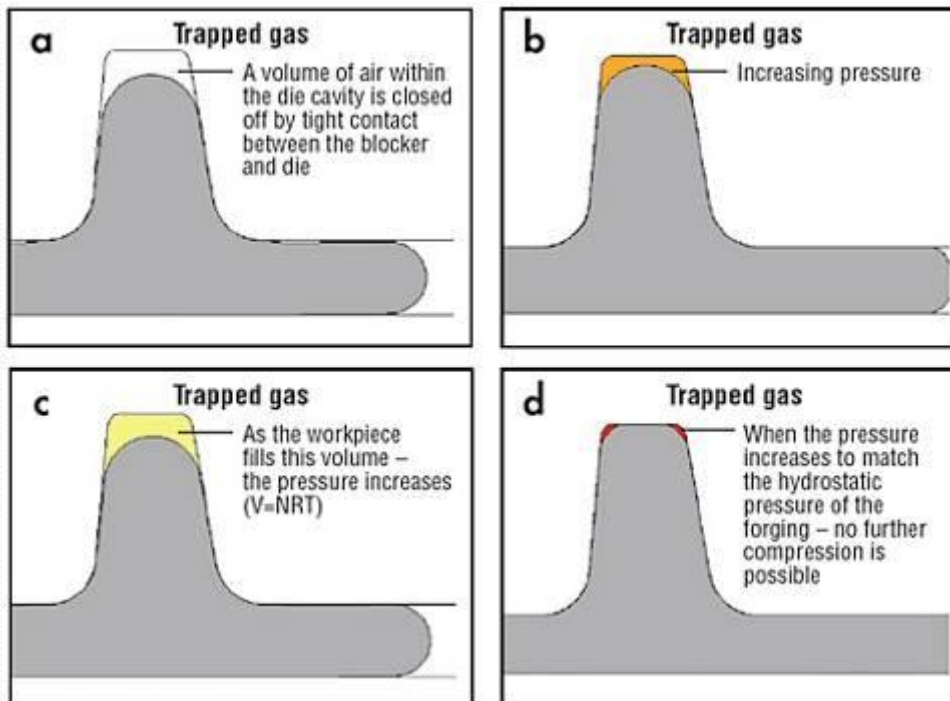


Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Defeitos típicos do forjamento

1. Falta de redução



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Defeitos típicos do forjamento

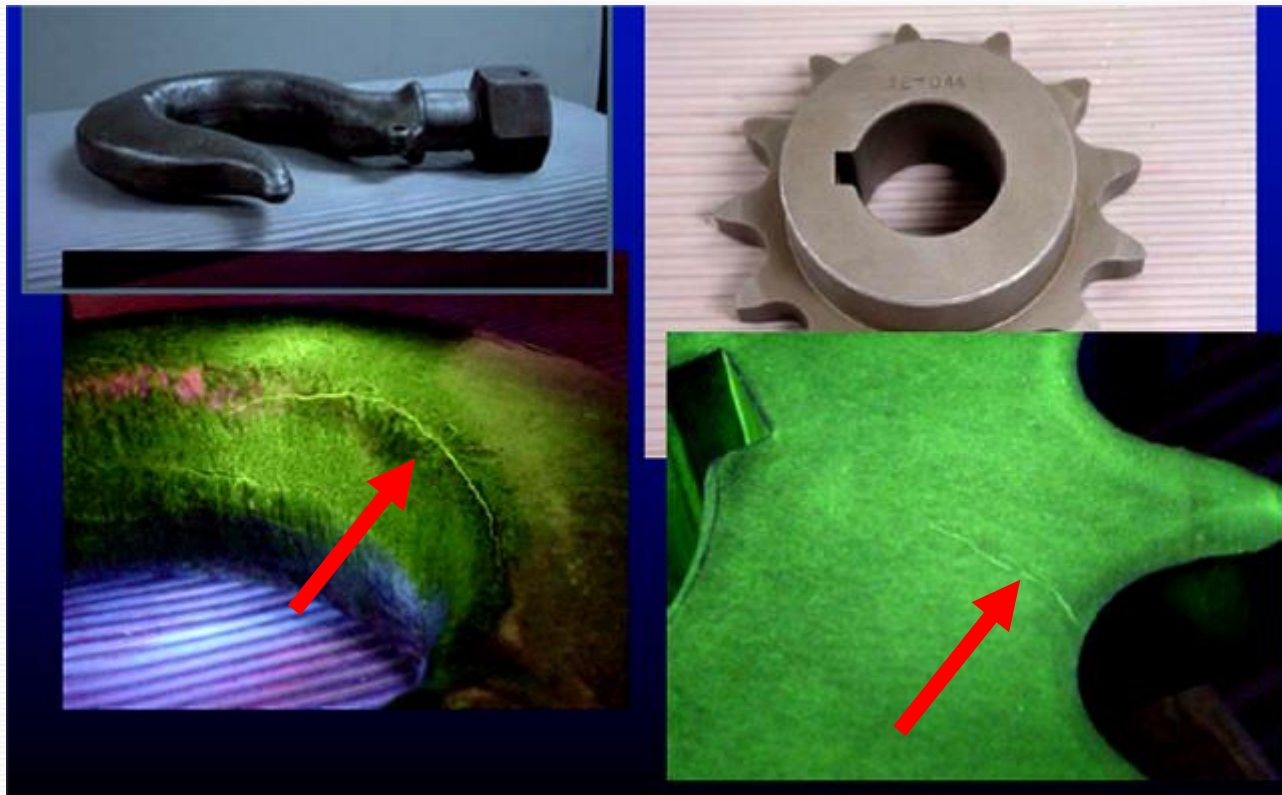
- 2. Trincas superficiais** - causadas por trabalho excessivo na periferia da peça em temperatura baixa, ou por alguma fragilidade a quente



Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Defeitos típicos do forjamento



Trincas Superficiais

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Defeitos típicos do forjamento

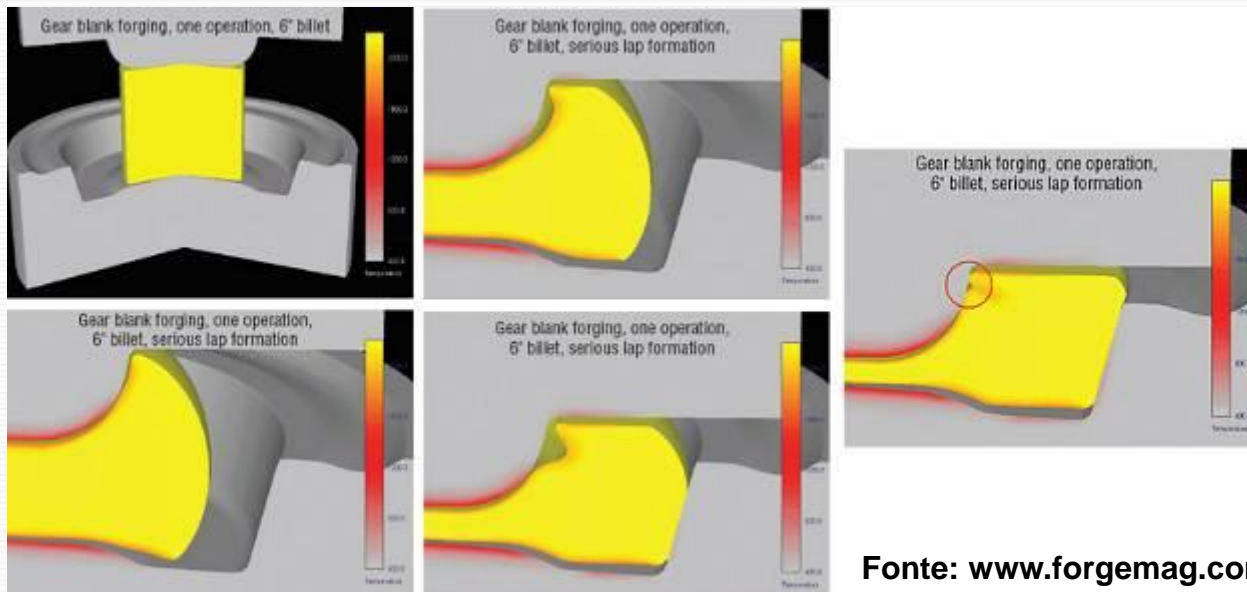
- 3. Trincas nas rebarbas** - causadas pela presença de impurezas nos metais ou porque as rebarbas são pequenas. Elas se iniciam nas rebarbas e podem penetrar na peça durante a operação de rebarbação.
- 4. Trincas internas** - originam-se no interior da peça, como consequência de tensões oriundas de grandes deformações.

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Defeitos típicos do forjamento

5. **Juntas frias** - são descontinuidades originadas pela dobra de superfícies, sem a ocorrência de soldagem. Elas são causadas por fluxos anormais de material quente dentro das matrizes, incrustações de rebarbas, colocação inadequada do material na matriz.



Fonte: www.forgemag.com

Conformação Mecânica

FORJAMENTO

Defeitos típicos do forjamento

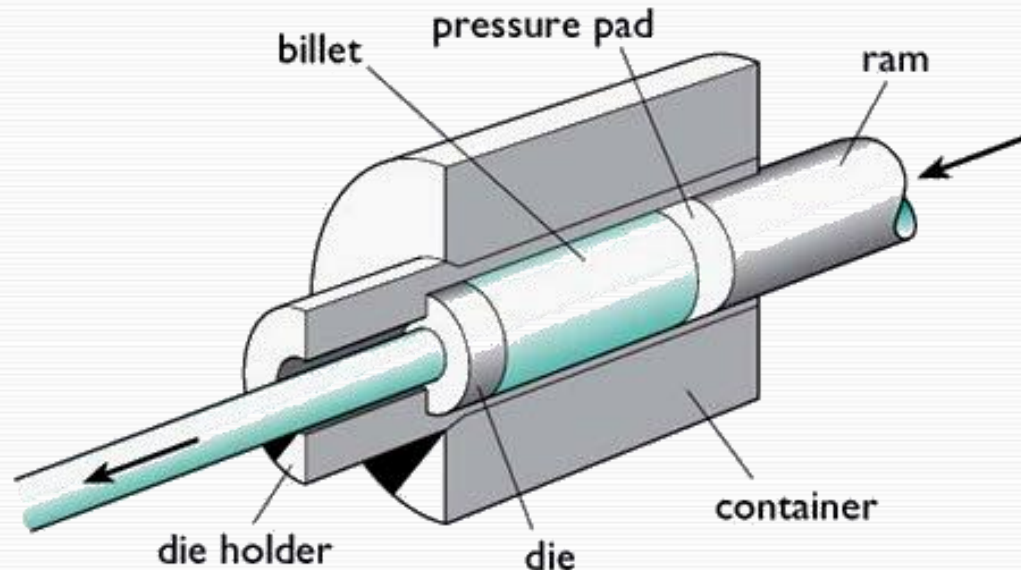
6. **Incrustações de óxidos** - causadas pela camada de óxidos que se formam durante o aquecimento. Essas incrustações normalmente se desprendem mas, ocasionalmente, podem ficar presas nas peças.
7. **Descarbonetação** - caracteriza-se pela perda de carbono na superfície do aço, causada pelo aquecimento do metal.
8. **Queima** - gases oxidantes penetram nos limites dos contornos dos grãos, formando películas de óxidos. Ela é causada pelo aquecimento próximo ao ponto de fusão.

Conformação Mecânica

PROCESSO DE EXTRUSÃO

Conformação Mecânica

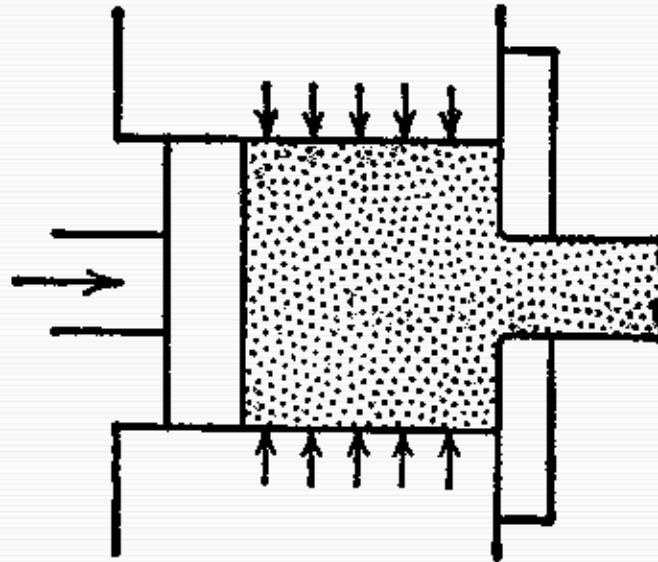
EXTRUSÃO



A extrusão é um processo que modifica a geometria e dimensões de um corpo metálico pela sua passagem por uma matriz que lhe confere a forma e dimensões finais, por meio da ação de um pistão acionado pneumática ou hidraulicamente.

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO



A extrusão é um processo de compressão indireta:

Reação à pressão do pistão exercida pelas paredes da matriz.

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Características

- **Componentes com excelente tolerâncias dimensionais**
- **Processo semi-contínuo, pois cada tarugo é extrudado individualmente;**
- **Produz na sua grande maioria produtos semi-acabados**
- **Perfis com seção transversal constante, simples ou complexos além de perfis tubulares**
- **Os materiais mais comuns usados na extrusão são: Alumínio, cobre, latão, aço baixo carbono e chumbo.**

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

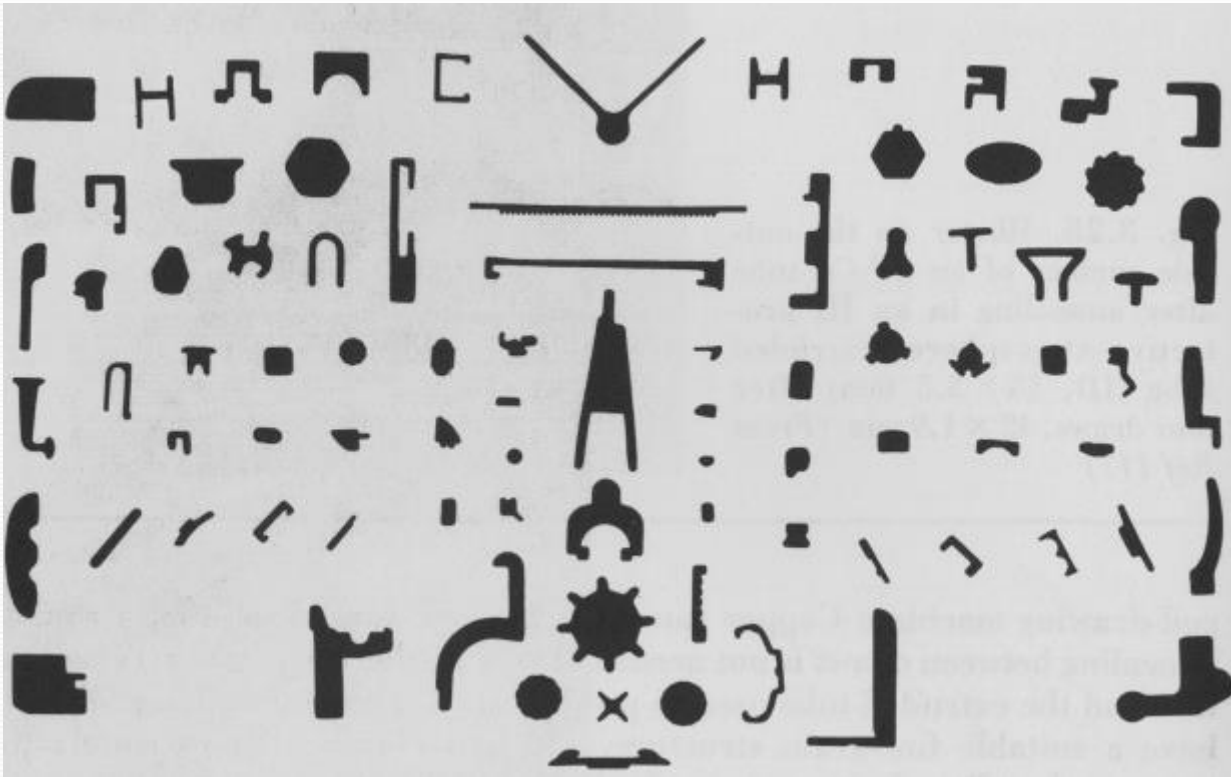
Produtos Típicos



Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Produtos Típicos



**Perfis de
Cobre**

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Produtos Típicos



Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

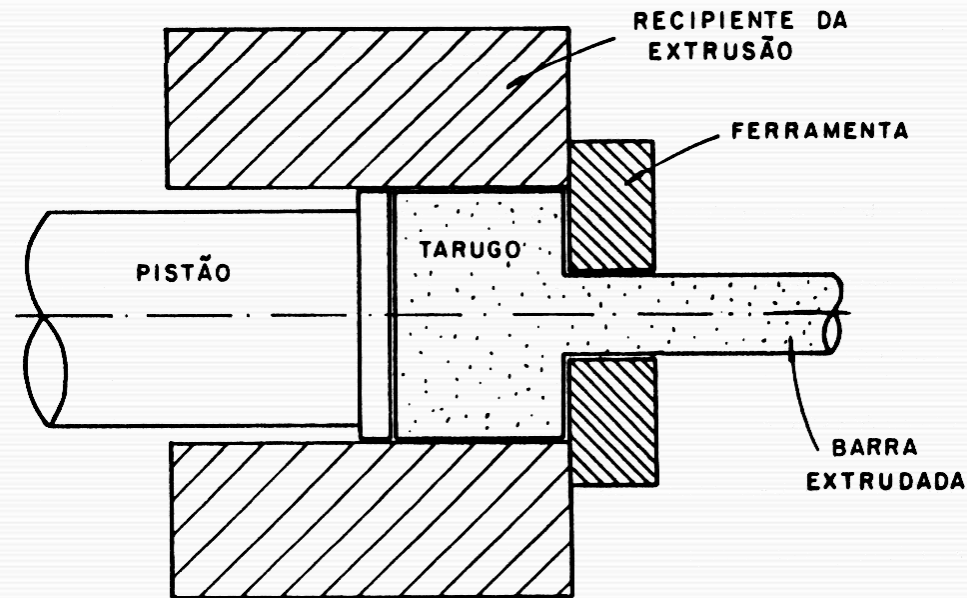
Tipos de Extrusão

- **Extrusão direta**
- **Extrusão Lateral**
- **Extrusão inversa**
- **Extrusão hidrostática**

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO DIRETA



Movimento do material extrudado no mesmo sentido de avanço do punção (pistão)

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

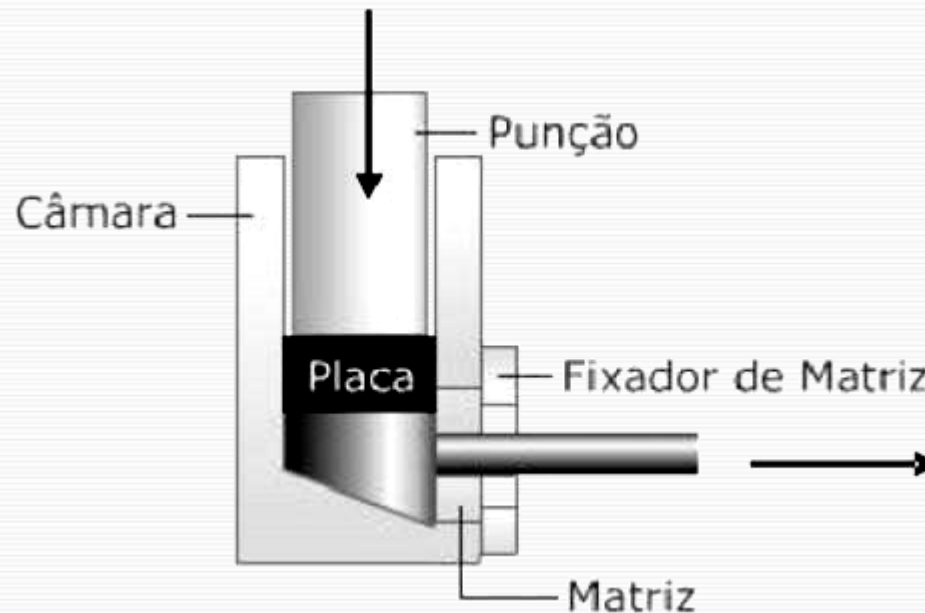
Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO DIRETA

- Equipamento simples
- Intensa ação do atrito entre tarugo e recipiente de extrusão;
- Com casca (revestimento), para reduzir o atrito e eliminar superfície contaminada;

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO LATERAL

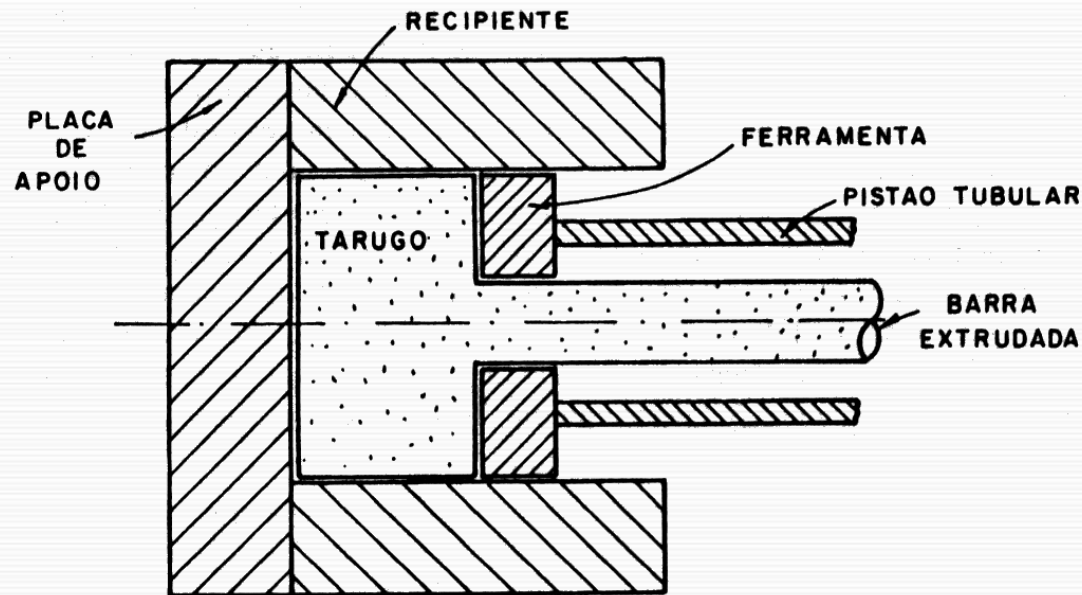


Movimento do material extrudado ocorre em direção oblíqua da direção de movimentação do punção

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO INVERSA



Movimento do material extrudado ocorre em sentido contrário ao sentido de avanço do punção (pistão)

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

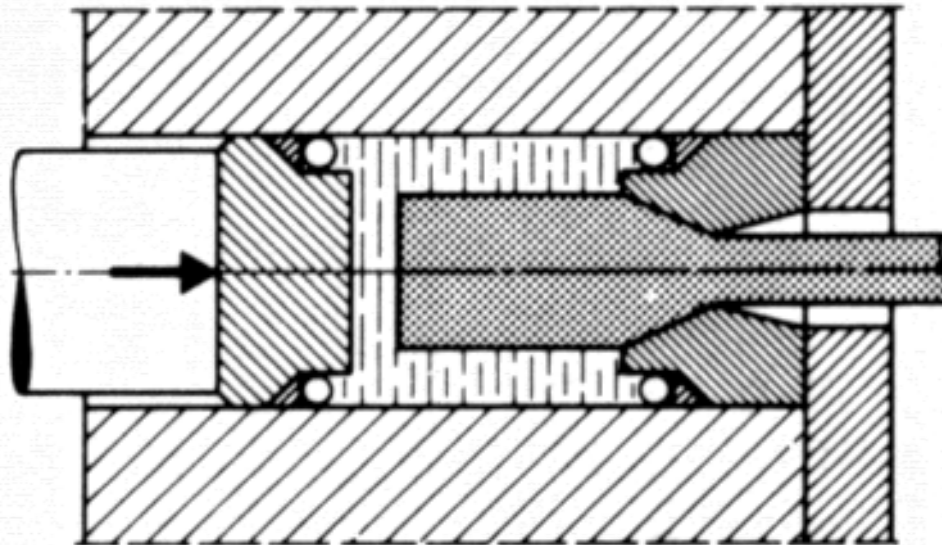
Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO INVERSA

- Não há atrito do tarugo com o recipiente;
- Menor esforço de conformação;
- Limitado pelo comprimento do êmbolo
- Embolo oco para barras
- Êmbolo esbelto para tubos
- Não permite obtenção de produtos com seção fina.

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO HIDROSTÁTICA



Transmissão de pressão ao tarugo por meio de um fluido hidráulico

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

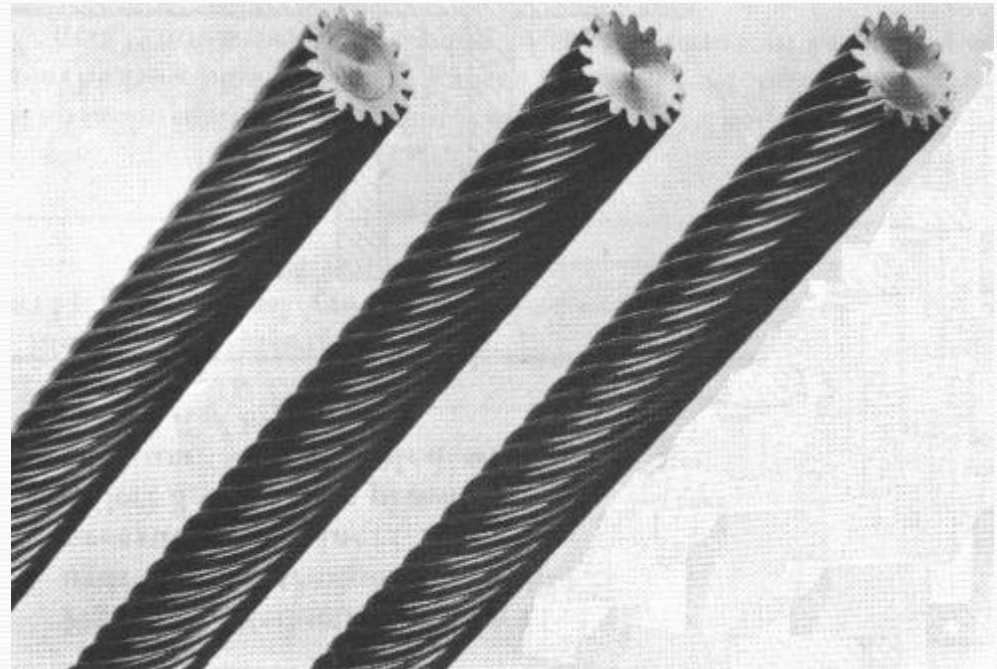
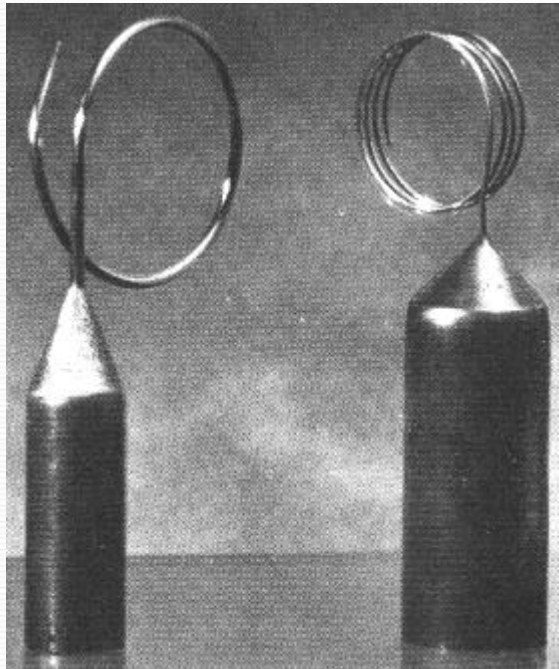
Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO HIDROSTÁTICA

- Não existe contato entre o tarugo e o êmbolo;
- Não existe contato entre o tarugo e as paredes do recipiente;
- Atrito negligenciável;
- Maior custo do equipamento;
- Possibilidade de grandes reduções de seção a frio devido à redução do atrito.

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

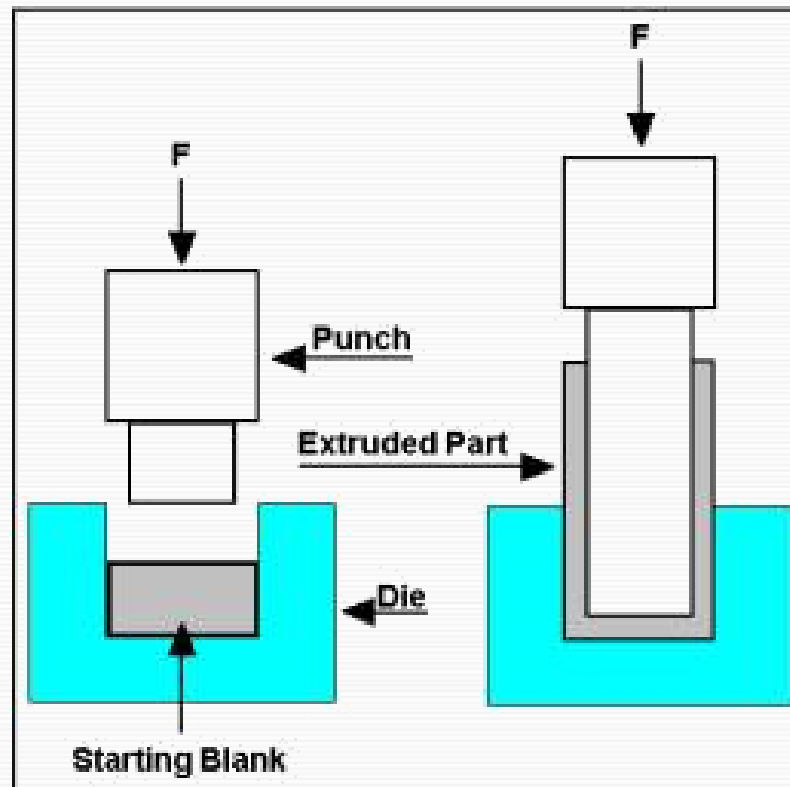
Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO HIDROSTÁTICA



Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO POR IMPACTO

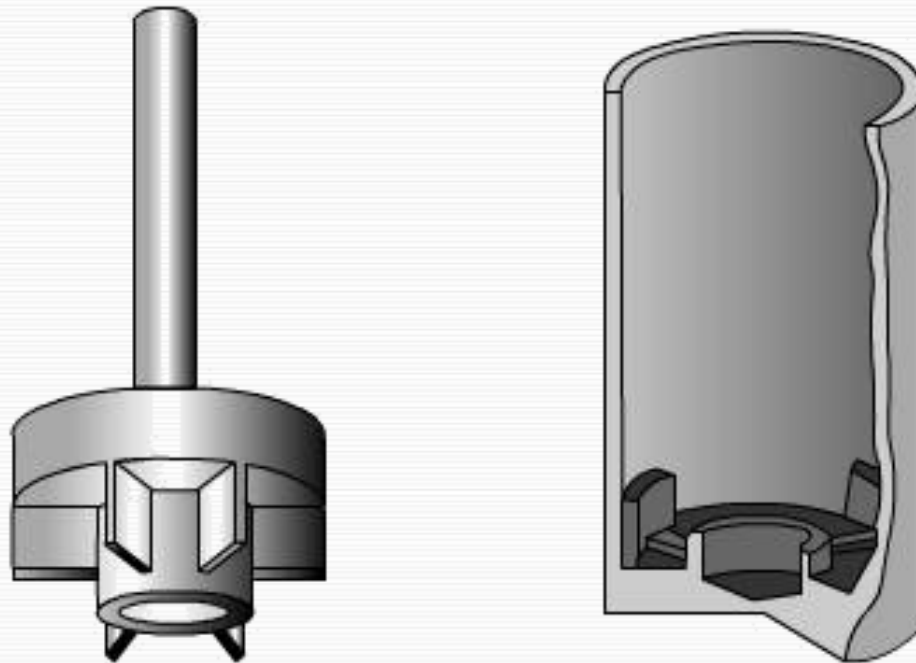


Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO POR IMPACTO

Exemplos de peças fabricadas por Extrusão de Impacto



Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Tipos de Extrusão – EXTRUSÃO POR IMPACTO



Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Equipamentos de extrusão

- Prensas hidráulicas com capacidade de 1000 a 8000 t;

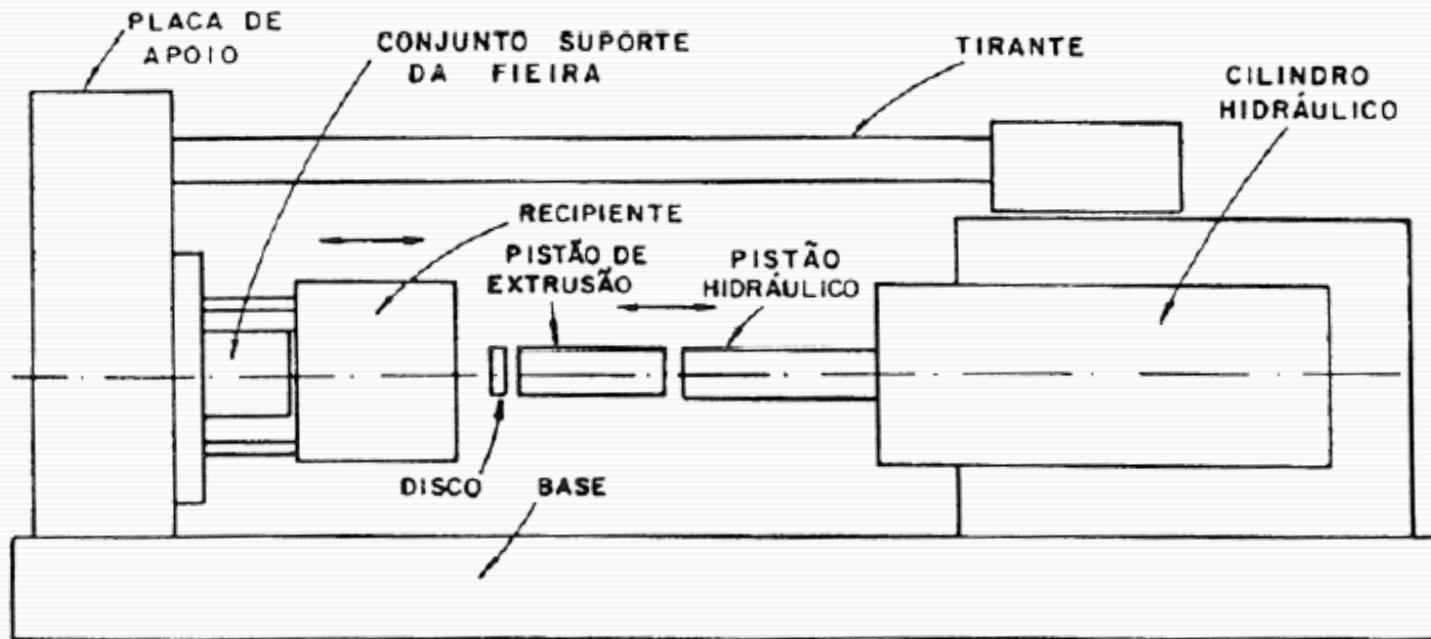
Equipamentos auxiliares:

- Sistemas de corte de barras;
- sistemas de retrocesso do pistão;
- fornos para aquecimento de tarugos (indutivos para maior rapidez e uniformidade de aquecimento);
- controle da atmosfera de aquecimento.

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Equipamentos de extrusão



Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

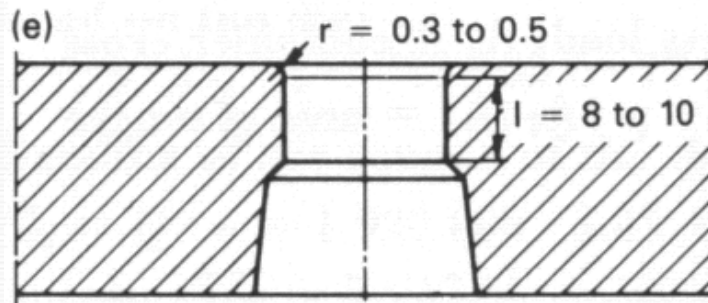
Ferramental para Extrusão

- Êmbolos, recipientes e matrizes fabricadas em aços para trabalho a quente, ligados ao Cr, V, Mo, W e Ni;
- em aços para trabalho a frio ligados ao Cr, V, Mo e W;
- matrizes com núcleo de **METAL DURO** para grandes produções;
- matrizes com geometrias específicas para grupos de ligas metálicas extrudadas.

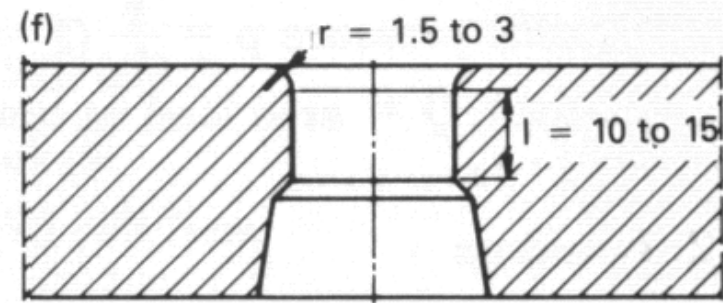
Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

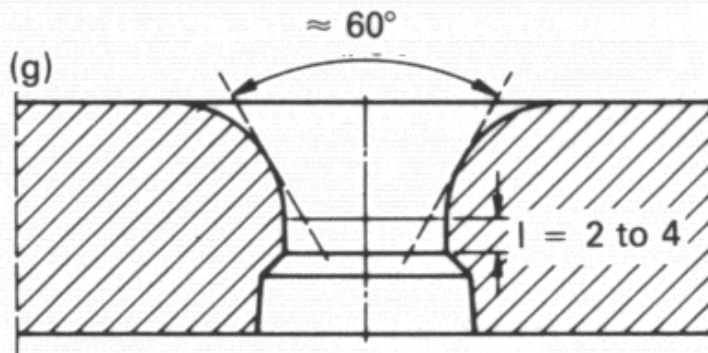
Exemplos de Geometria de Matrizes para algumas ligas



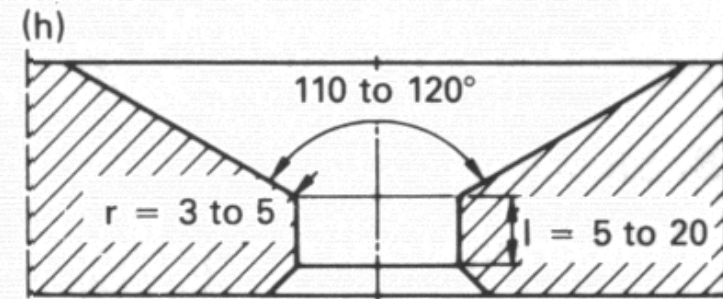
CuZnPb



CuCd, CuSb



ligas de Zn

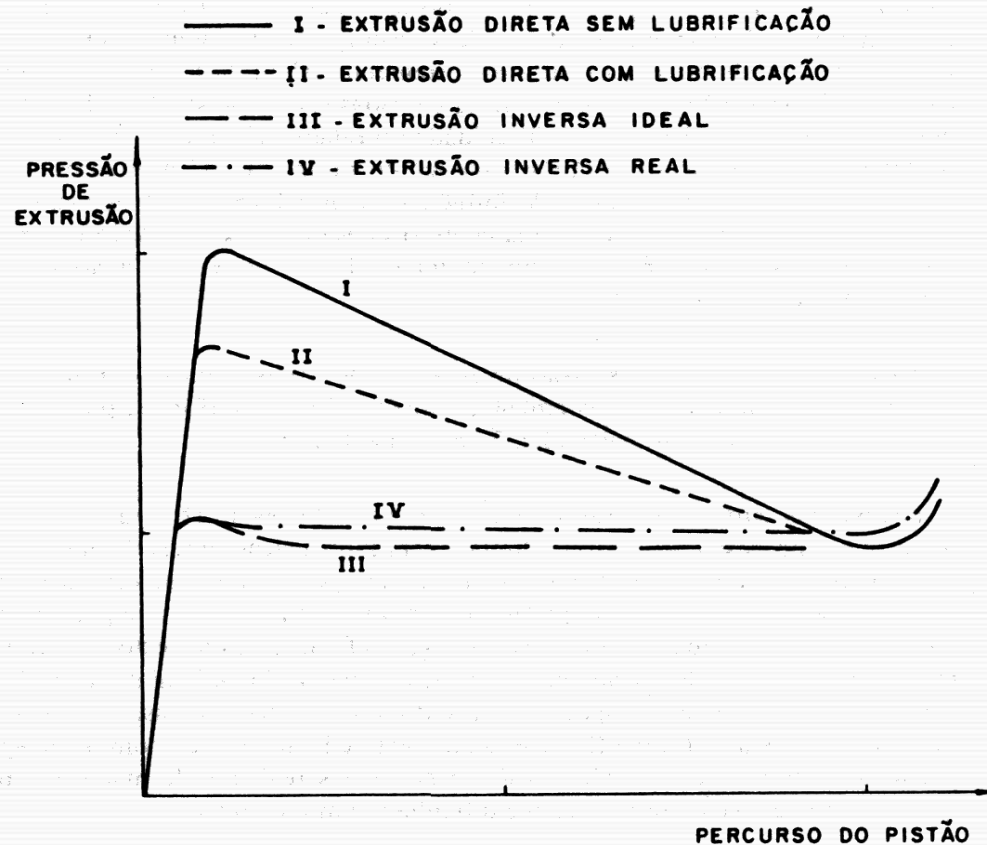


aços

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Efeitos da lubrificação na extrusão



Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Extrusão a quente

- Grandes reduções de seção numa só etapa;
- maioria dos processos para obter produtos contínuos semi-acabados (barras) e acabados (perfis e tubos);
- defeitos causados por modos de escoamento incorretos (intrusão), por defeitos e impurezas na matéria-prima ou pela escolha inadequada da temperatura e velocidade de extrusão;
- diversos componentes para localizar, guiar e extrudar o tarugo aquecido.
- Desgaste excessivo da matriz

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Extrusão a frio

- Pequenas reduções de seção em vários estágios;
- obtenção de peças de precisão;
- diversos estágios para obtenção de peças isoladas, como por exemplo, parafusos;
- defeitos causados por geometria inadequada das matrizes ou pela lubrificação insuficiente (“chevron”), ou pela deformação excessiva na extrusão (trincas).

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

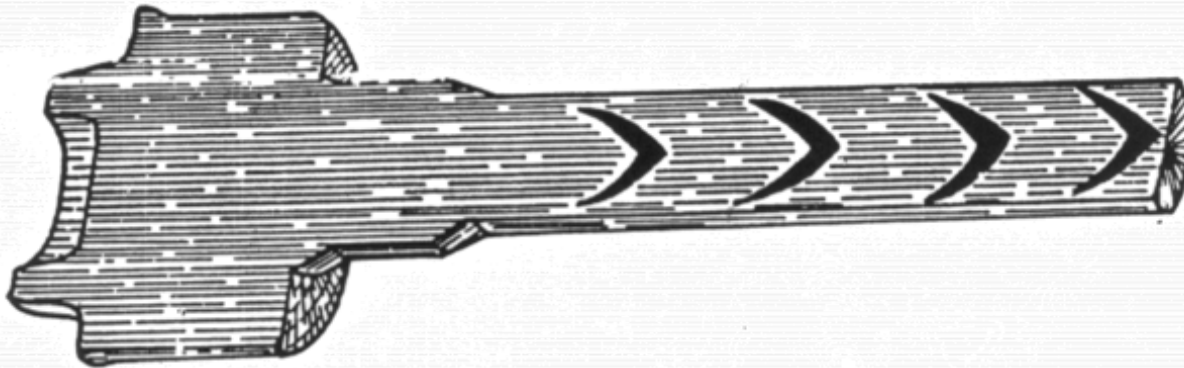
Defeitos Típicos da extrusão

- Cavidades internas (ou “chevron”)
- Anel de óxido;
- Arrancamento;
- Bolhas;
- Ondulação superficial
- Heterogeneidades

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Defeitos da extrusão – Cavidades Internas (“chavron”)



Este defeito é atribuído à tensão hidrostática de tração na linha central, similar à situação da região de estrição em um corpo em ensaio de tração. A tendência à formação de fissuras centrais aumenta com o crescimento do atrito e da relação de extrusão.

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Defeitos da extrusão

Anel de óxido

Quando a maior parte do bloco de metal já passou pela matriz, a superfície externa move-se para o centro e começa a fluir pela matriz. Como essa superfície externa contém uma película de óxido, aparecem linhas internas de óxido no interior do produto.

Arrancamento

É uma descontinuidade que se forma na superfície do produto e aparece na forma de perda de material da superfície, quando o produto passa muito rapidamente pela matriz.

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Defeitos da extrusão

Bolhas

São cavidades na superfície. Elas podem ser causadas pela presença de hidrogênio e materiais provenientes da fundição do lingote ou por ar contido dentro do recipiente da prensa.

Ondulação superficial

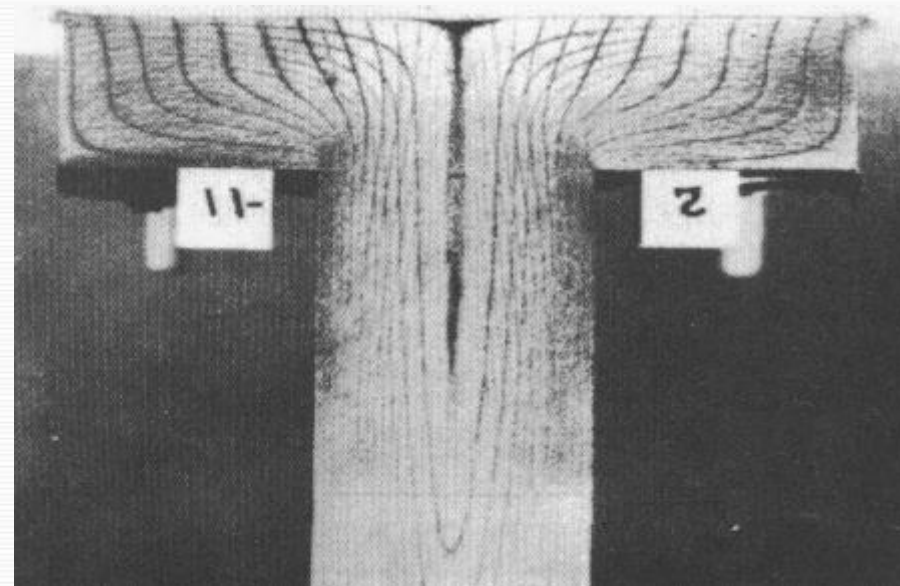
É ocasionado pela oscilação da pressão, no momento da extrusão, que deixa sua marca no perfil do material extrudado. O perfil extrudado fica com um aspecto superficial de pequenas e infinitas lombadas e mini-calombos.

Conformação Mecânica

EXTRUSÃO

Defeitos da extrusão

Heterogeneidade Microestrutural



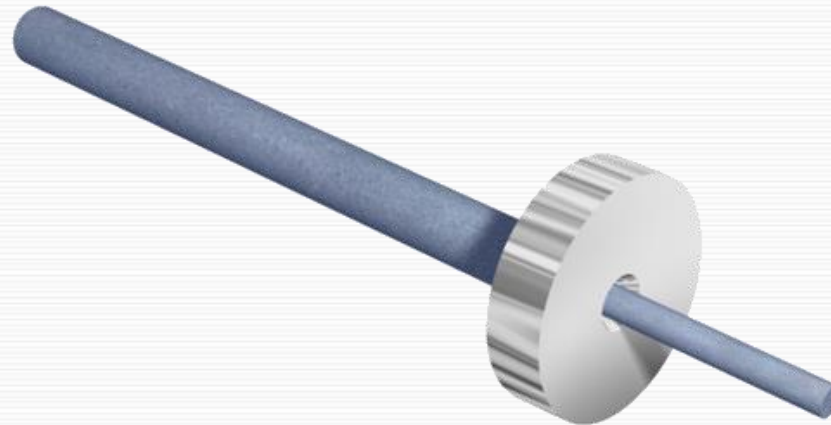
É causada pela não uniformidade do fluxo de material durante o processo de extrusão.

Conformação Mecânica

PROCESSO DE TREFILAÇÃO

Conformação Mecânica

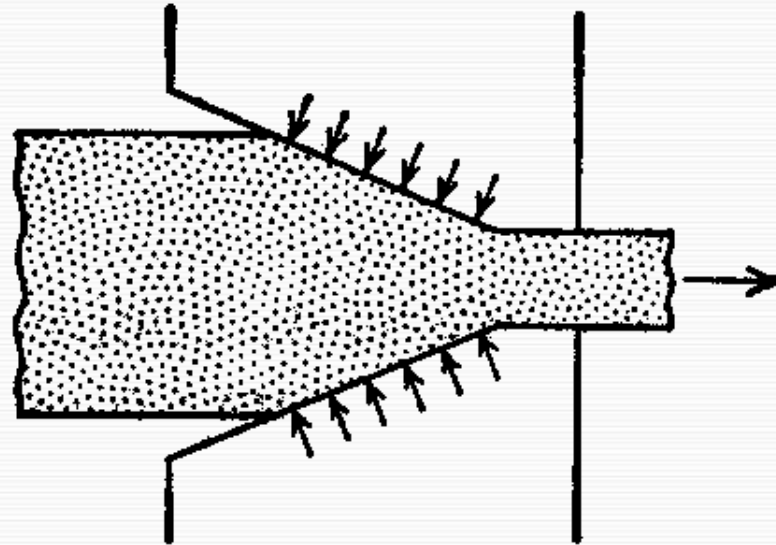
TREFILAÇÃO



A trefilação é um processo que consiste em puxar o metal através de uma matriz em forma de canal convergente (chamada fieira ou trefila), por meio de uma força de tração a ele aplicada na saída dessa mesma matriz.

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO



Na Trefilação o escoamento plástico é produzido principalmente pelas forças compressivas provenientes da reação da matriz sobre o material.

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

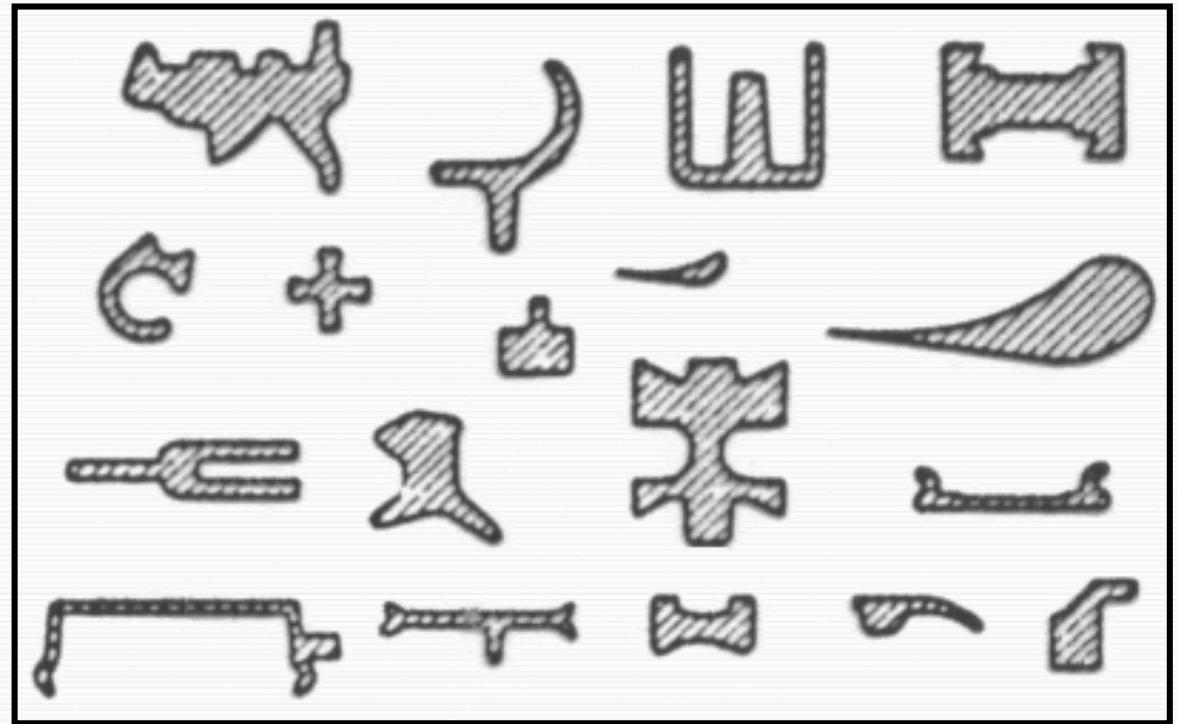
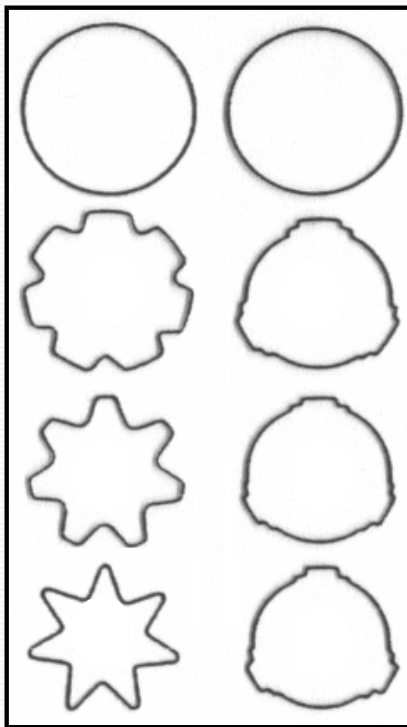
Características

- O material pode ter seu comprimento aumentado e sua seção reduzida em maior grau que nos demais processos;
- Excelente tolerâncias dimensionais (só perde para a laminação a frio, que no entanto, não está apta a produzir geometrias obtidas na trefilação);
- A superfície obtida é uniformemente limpa e polida;
- Possibilidade de se alterar as propriedades mecânicas, combinando o tratamento mecânico com tratamentos térmicos.

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

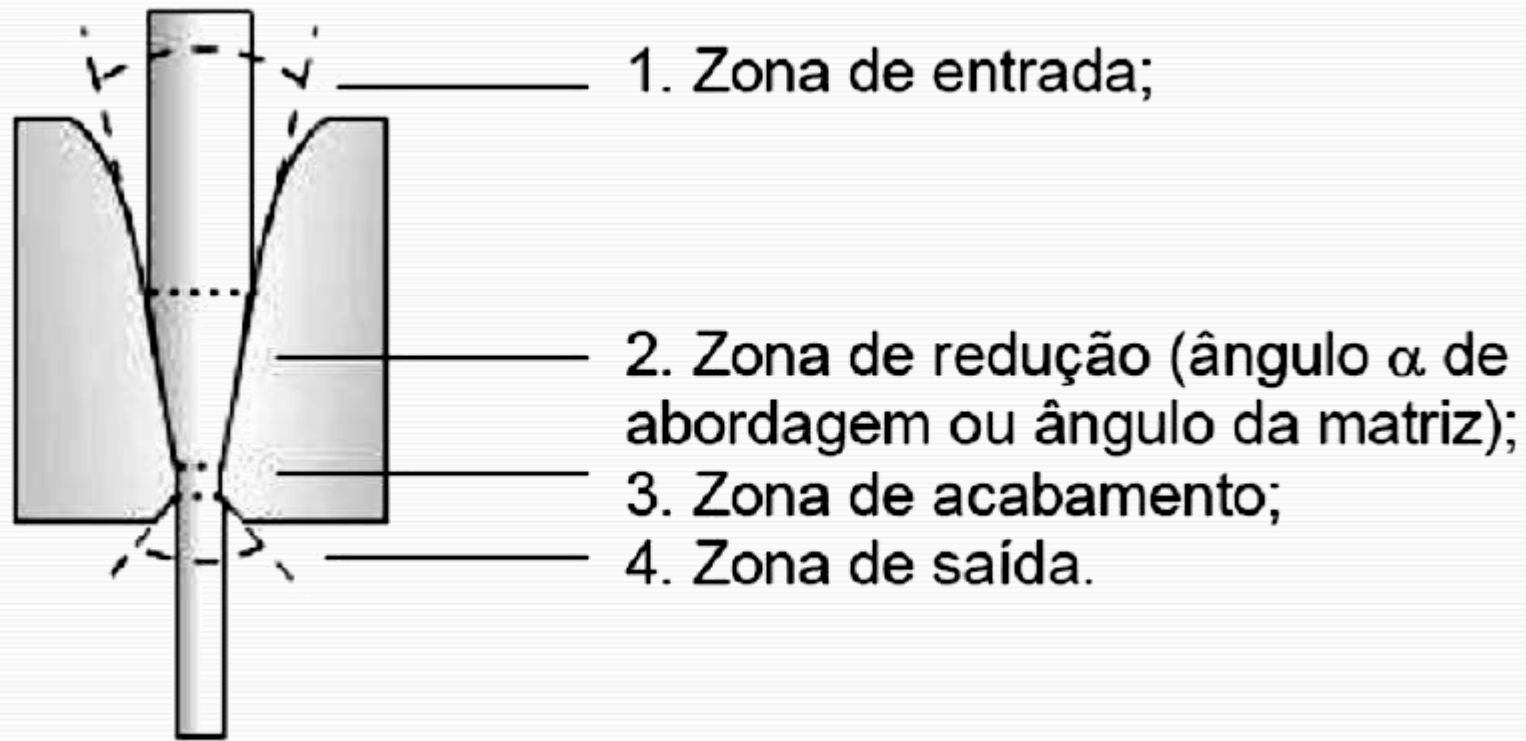
Geometria dos produtos trefilados



Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Matriz de trefilação (fieira)



Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Matriz de trefilação (fieira)

A fieira pode ser dividida em 4 zonas diferentes de conformação mecânica:

ZONA 1 – “Entrada” ou região de aproximação ou de entrada do material, compreendida pelo ângulo 2β . Promove a guia da barra ou fio de matéria prima para dentro da região de conformação mecânica. É por esta região que o lubrificante penetra para atuar na região de contato entre o metal conformado e a matriz, mais no interior da fieira.

ZONA 2 – “Ângulo de redução” ou região de trabalho, onde ocorre a aproximação final do material e a deformação plástica na região definida como sendo “área crítica de redução”. A deformação plástica se dá de maneira convergente devido ao ângulo 2α .

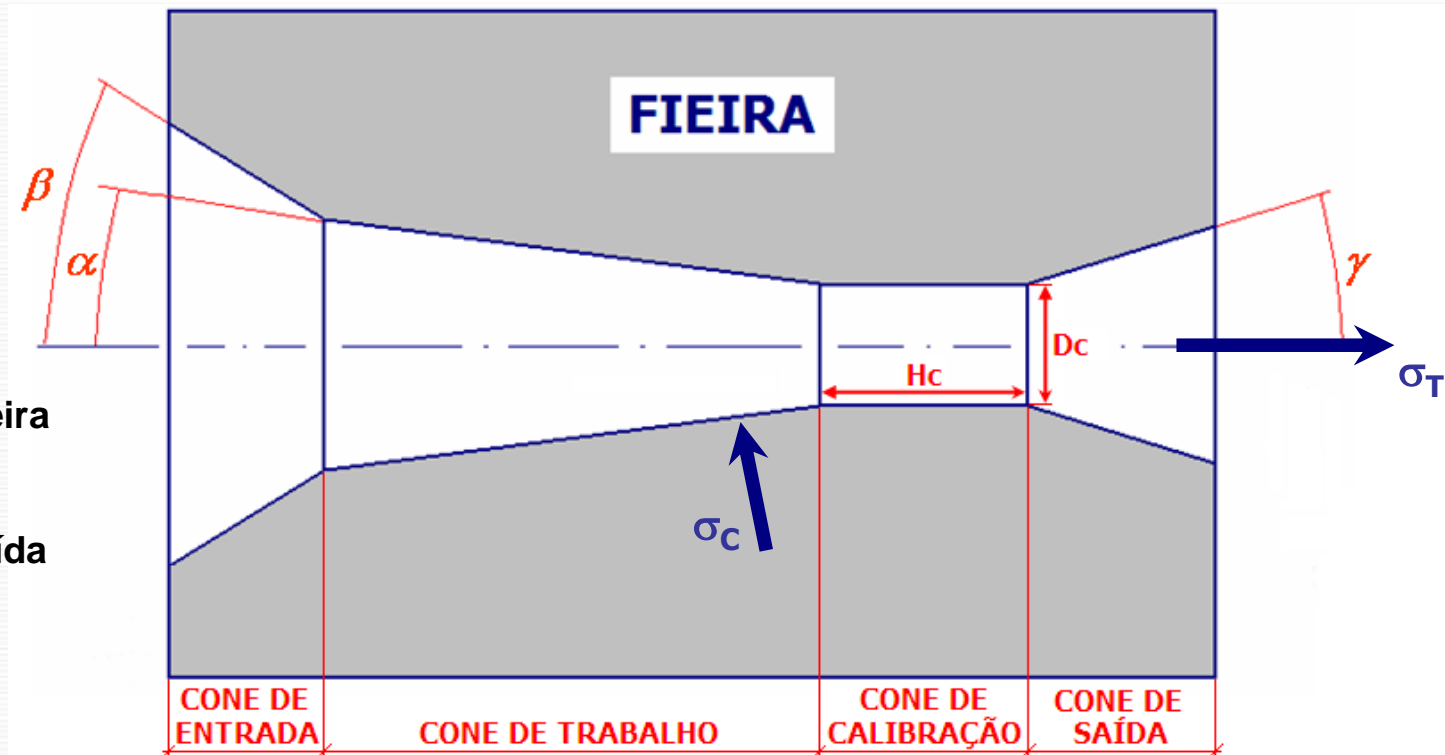
ZONA 3 – Região paralela, possui um comprimento H_c , sendo a região responsável pela definição de geometria e das dimensões do produto trefilado

ZONA 4 – Região de saída do material. Nesta região o material sofre uma pequena recuperação elástica, representada pelo ângulo 2γ .

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Matriz de trefilação (fieira)



α – semi-ângulo da fieira
 β – semi-ângulo de entrada
 γ – semi-ângulo de saída

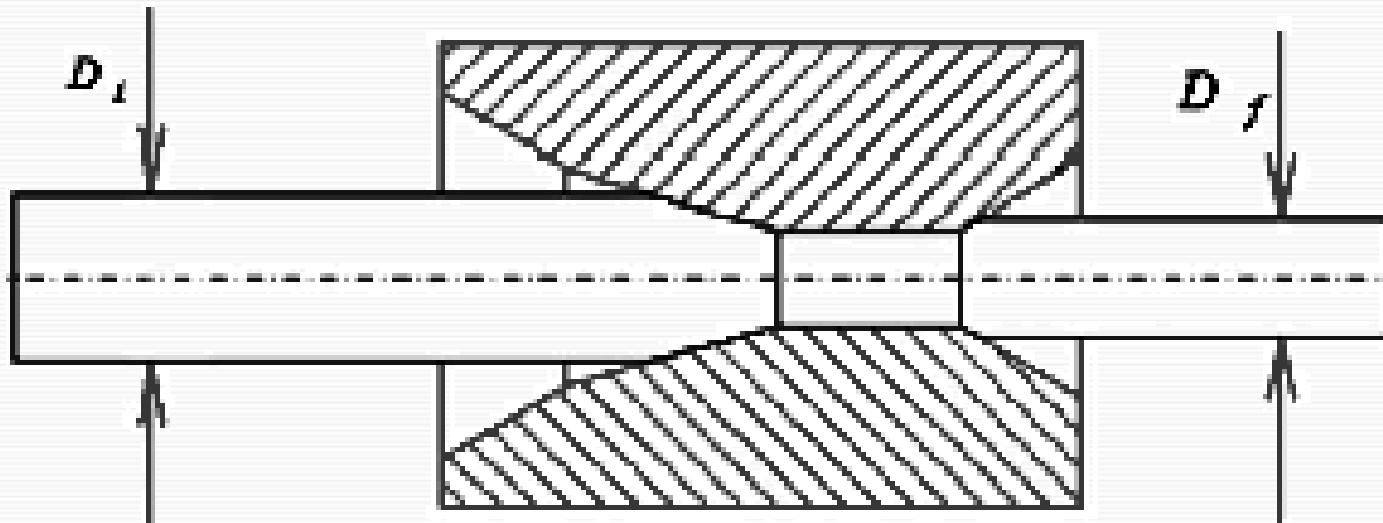
H_c – altura do cilindro de calibração

D_c – diâmetro do cilindro de calibração

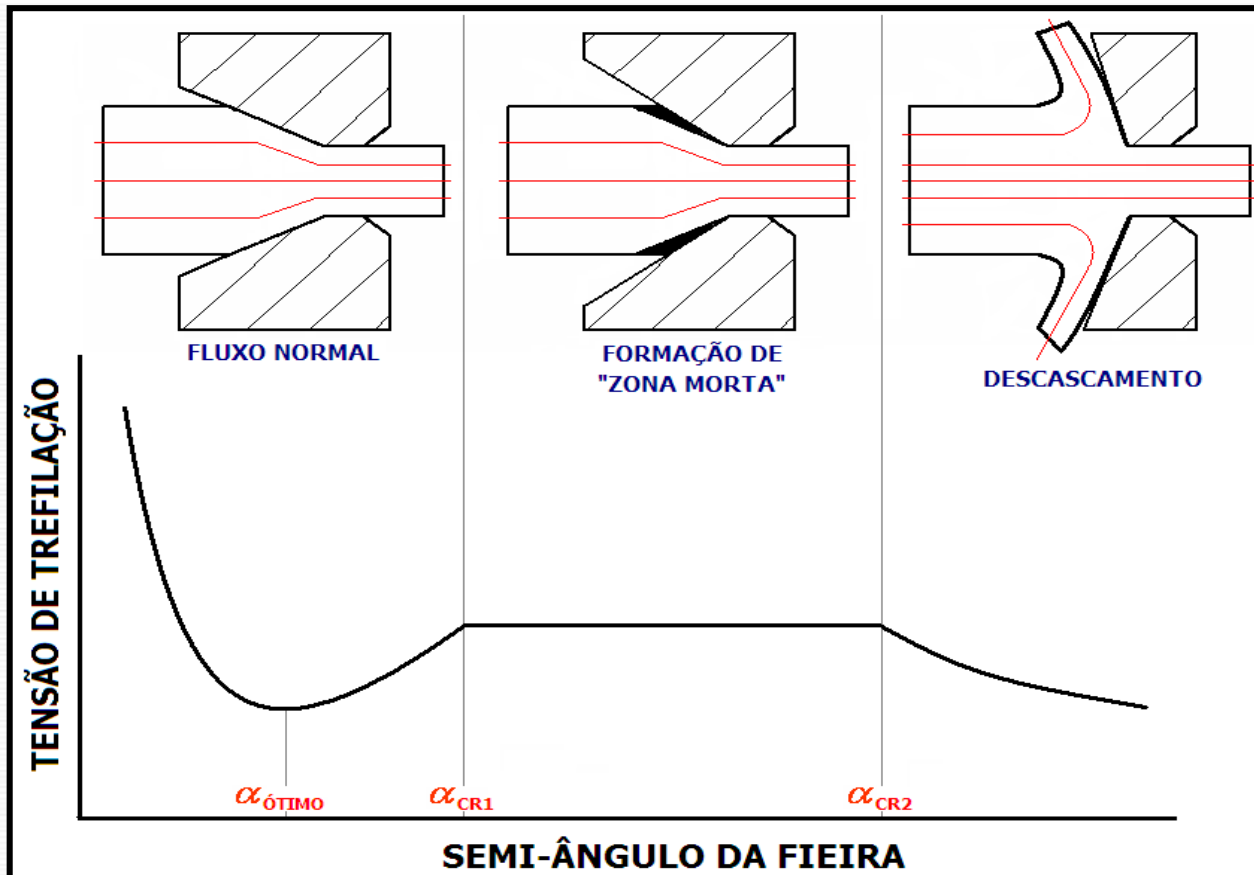
Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Matriz de trefilação (fieira)



Conformação Mecânica



Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

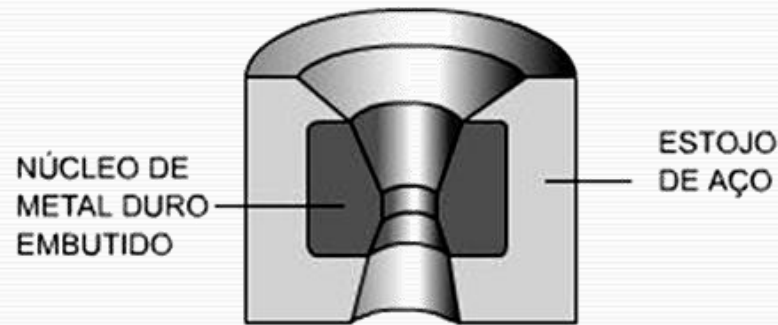
Matriz de trefilação – Materiais para a Ferramenta

- Os materiais dependem das exigências do processo (dimensões, esforços) e do material a ser trefilado. Os mais utilizados são:
 - Metal duro.
 - Aços de alto C revestidos de Cr (cromagem dura)
 - Aços especiais (Cr-Ni, Cr-Mo, Cr-W, etc.)
 - Ferro fundido branco
 - Cerâmicos (pós de óxidos metálicos sinterizados)
 - Diamante (p/ fios finos ou de ligas duras)
- 1. Diamante: para fios com diâmetros menores que 2 mm.
- 2. Metal duro: para fios maiores que 2 mm

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Matriz de trefilação – Materiais para a Ferramenta



Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

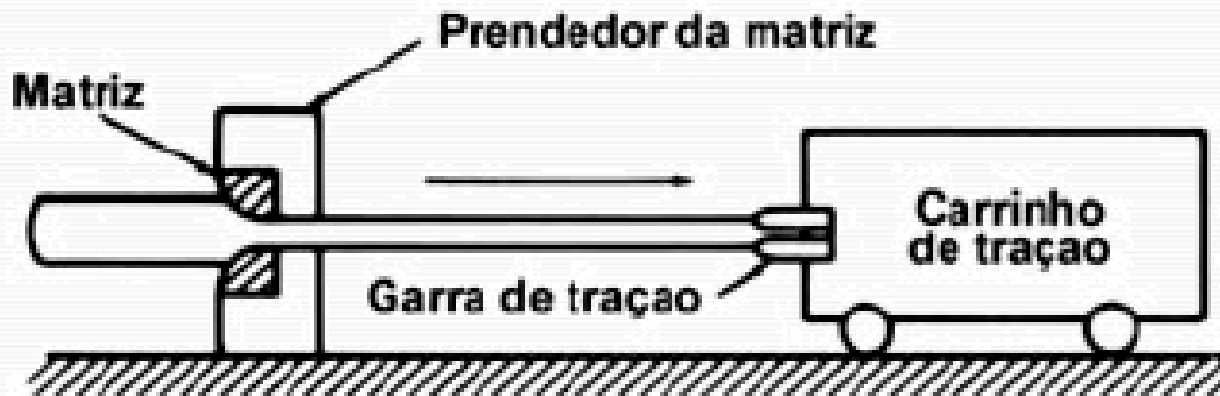
Equipamentos

- **Trefiladores de bancada**
- **Trefiladores de tambor**

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Equipamentos – Trefiladores de bancada

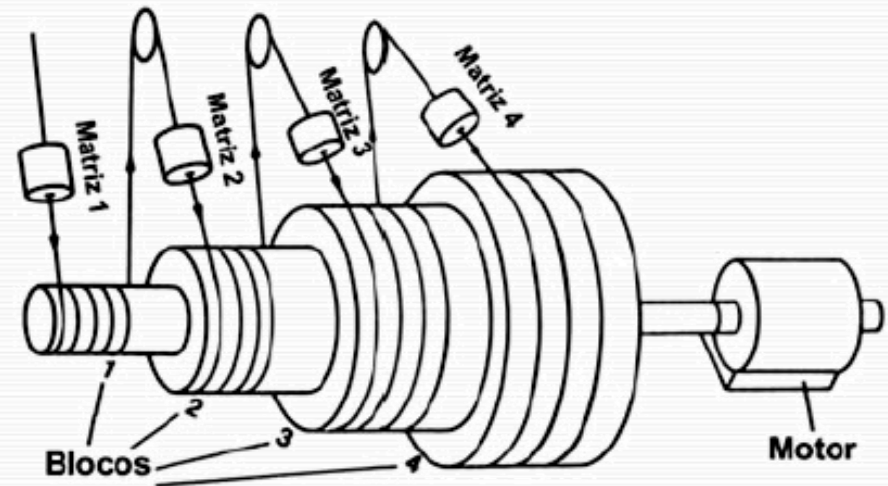
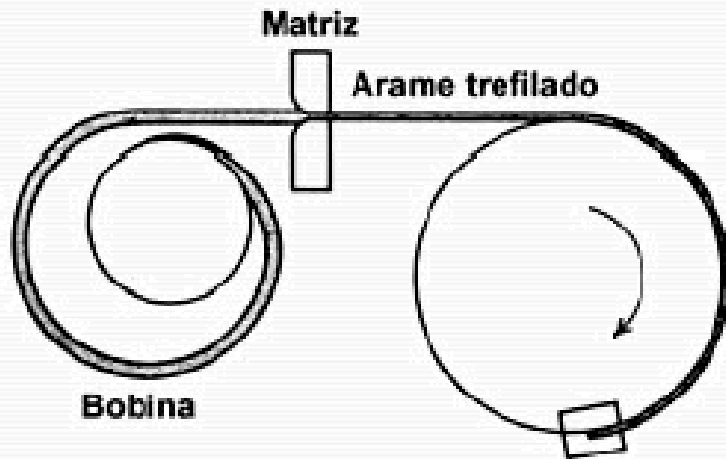


Usado para produção de componentes não bobináveis
(p. ex.: barras e tubos)

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Equipamentos – Trefiladores de tambor



Usado para produção de componentes bobináveis
(p. ex.: arames)

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Equipamentos – Trefiladores de tambor



Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Trefilação de tubos

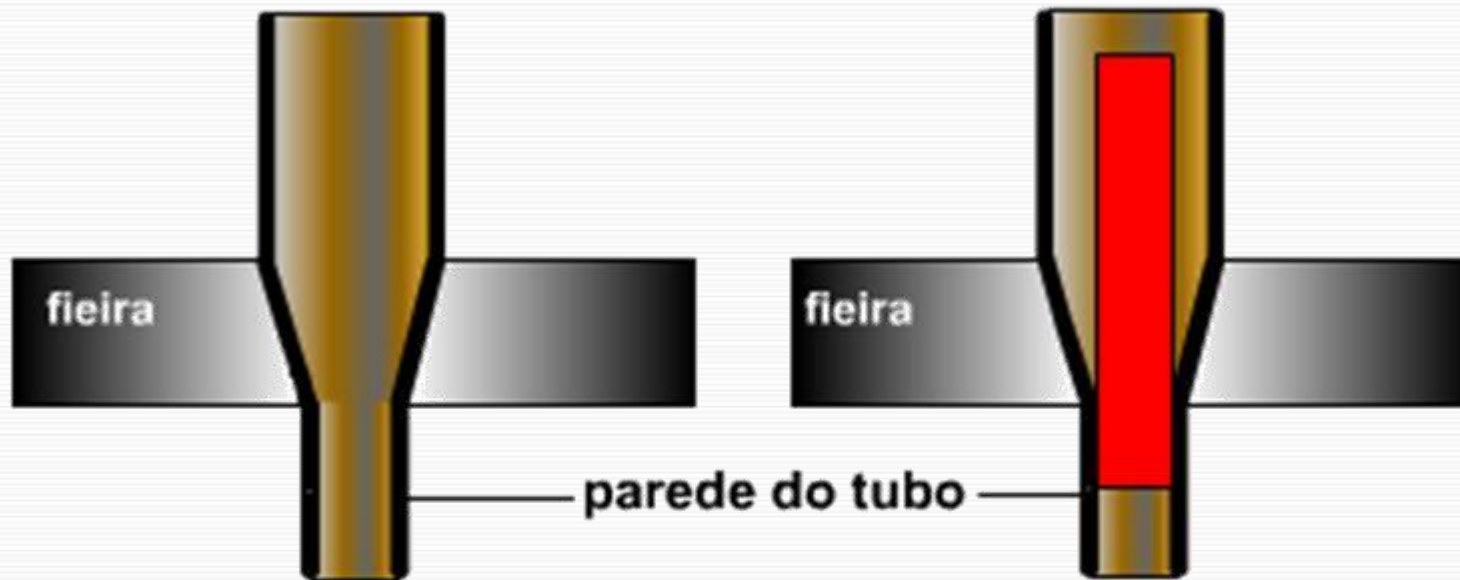
Os Tubos podem ser trefilados dos seguintes modos:

- sem apoio interno
- com mandril passante
- com plug (bucha) interno
- com bucha flutuante

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Trefilação de tubos



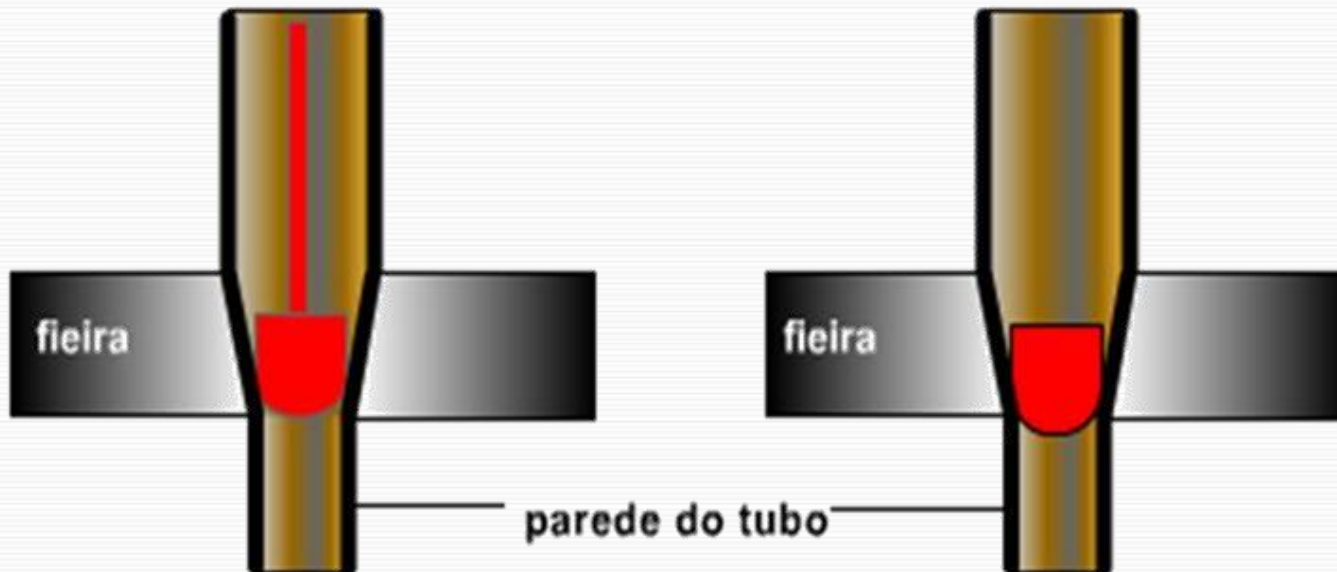
a) sem suporte interno
(rebaixamento)

b) com mandril passante

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Trefilação de tubos



c) com bucha (plug) fixo

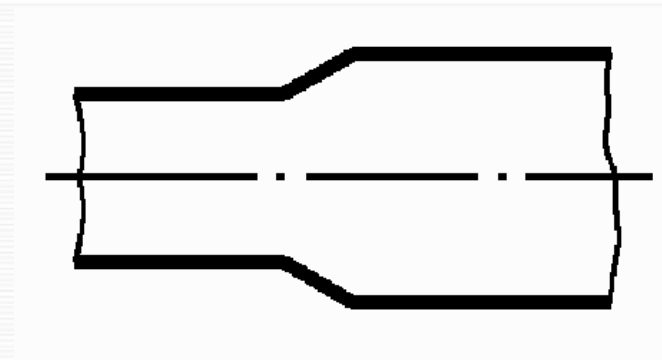
d) com bucha flutuante

Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Defeitos Típicos

1. **Diâmetro escalonado**, causado por partículas duras retidas na fieira e que se desprendem depois.

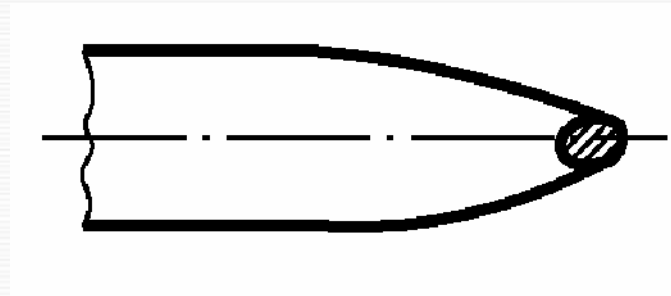


Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Defeitos Típicos

- 2. Fratura irregular** com estrangulamento, causada por esforço excessivo devido à lubrificação deficiente, excesso de espiras no anel tirante, anel tirante rugoso, anel tirante com diâmetro incorreto, redução excessiva.

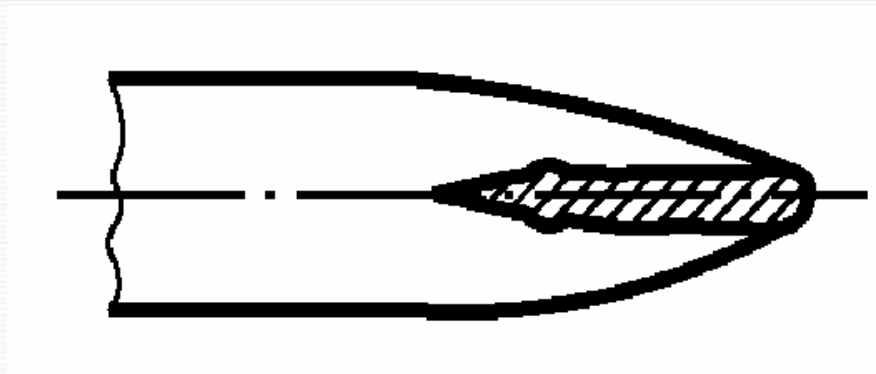


Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Defeitos Típicos

3. **Fratura com risco lateral** ao redor da marca de inclusão, causada por partícula dura incluída no fio inicial proveniente da laminação ou extrusão.



Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Defeitos Típicos

4. Fratura com trinca aberta em duas partes, causada por trincas de laminação.

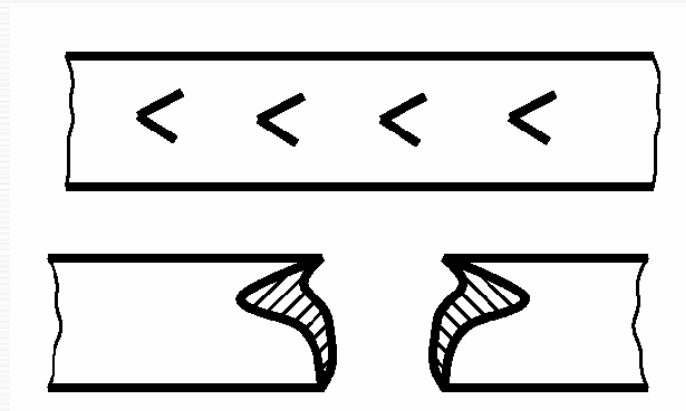


Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Defeitos Típicos

5. **Marcas em forma de V** ou fratura em ângulo, causadas por redução grande e parte cilíndrica pequena, com inclinação do fio na saída; ruptura de parte da fieira com inclusão de partículas no contato fio-fieira; inclusão de partículas duras estranhas

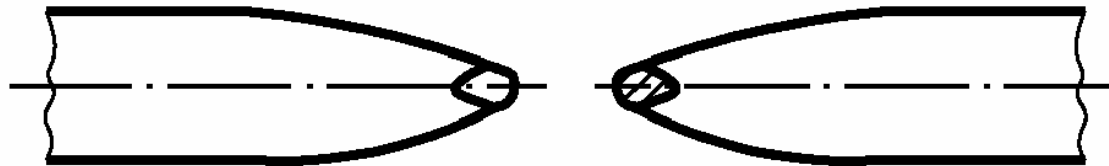


Conformação Mecânica

TREFILAÇÃO

Defeitos Típicos

6. **Ruptura taça-cone**, causada por redução pequena e ângulo de fieira muito grande, com acentuada deformação da parte central.



Conformação Mecânica

PROCESSO DE CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Características gerais

- **Capacidade de produzir uma enorme variedade de formas a partir de chapas;**
- **Produção em grande escala;**
- **Bom acabamento superficial das peças obtidas;**
- **Conformação a frio**

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Operações Básicas

- **Corte;**
- **Dobramento;**
- **Estiramento;**
- **Embutimento;**

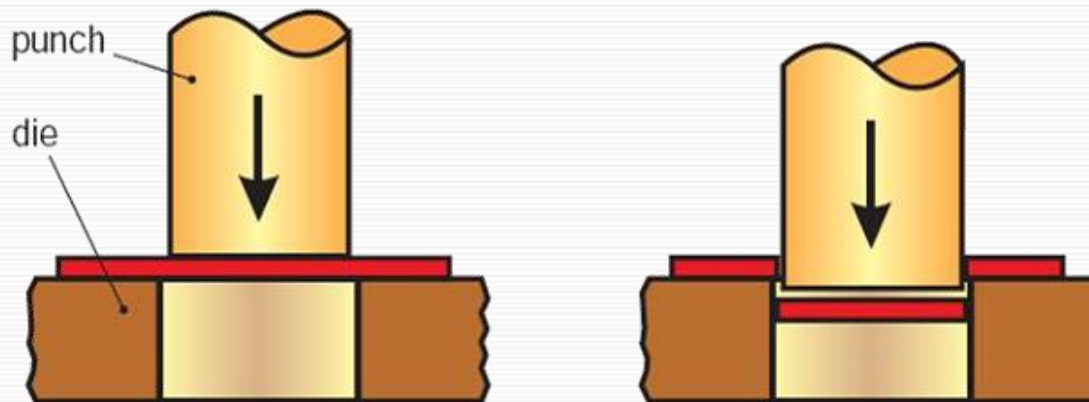
A combinação das operações acima citadas realizadas em prensas é geralmente denominada **ESTAMPAGEM**

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Operações Básicas – Corte de Chapas

Consiste na separação de partes adjacentes de uma chapa metálica através de uma **fratura controlada**, empregando-se normalmente duas ferramentas com bordas afiadas



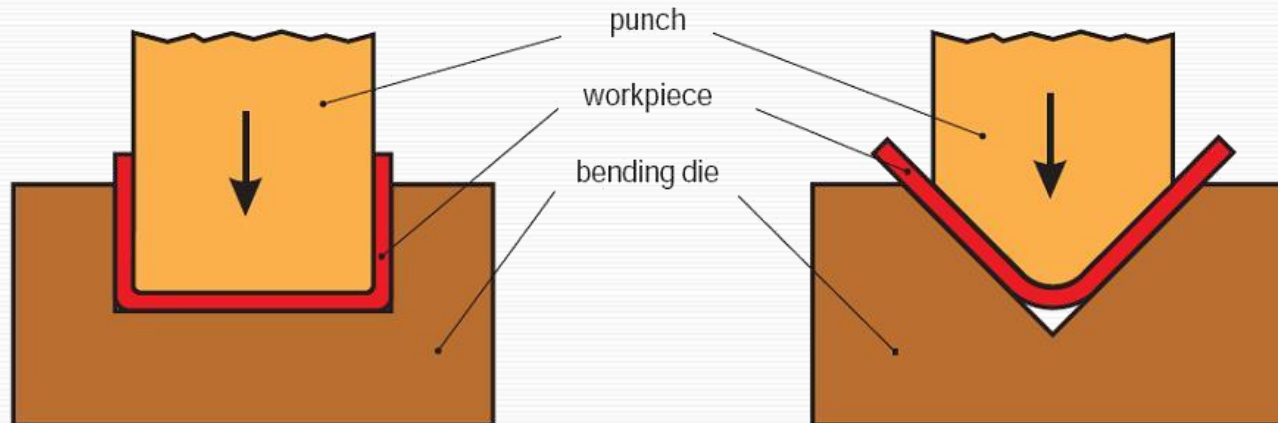
Fonte: Metal Forming Handbook / Schuler (1998)

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Operações Básicas – Dobramento de chapas

Conformação por efeito de flexão além do limite elástico, em torno de um contorno dado pela matriz. (abrange um série de operações de curvamento em equipamentos especiais)

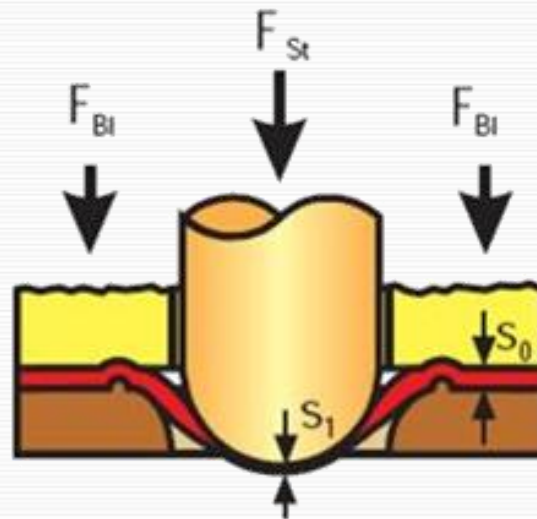


Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Operações Básicas – Estiramento de chapas

Conformação por efeito de tração além do LE da chapa realizada sobre o contorno de uma matriz côncava sendo que a chapa é **presa na sua periferia**.

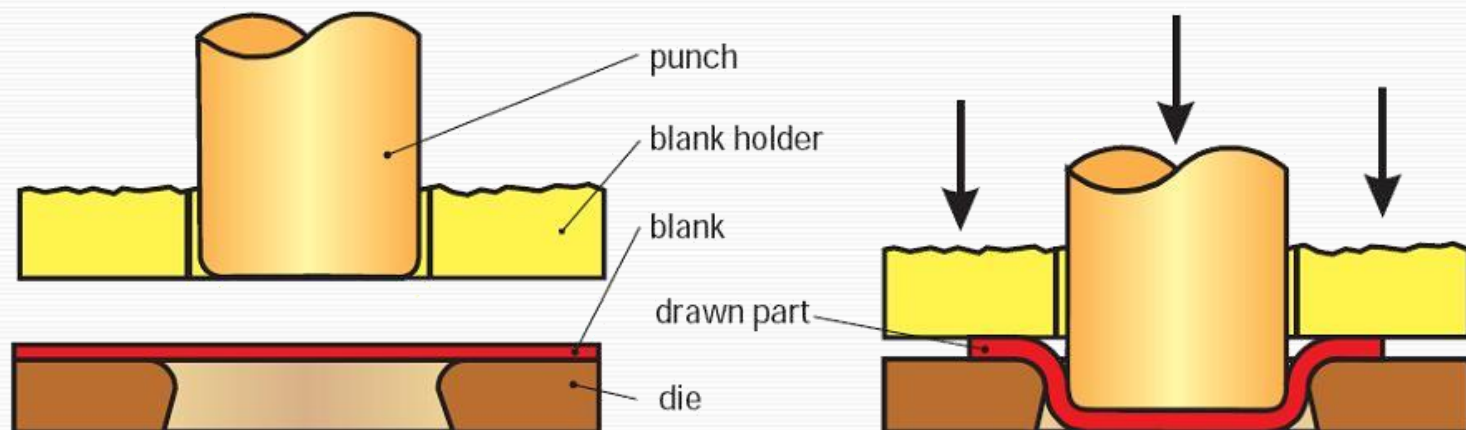


Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Operações Básicas – Embutimento de chapas

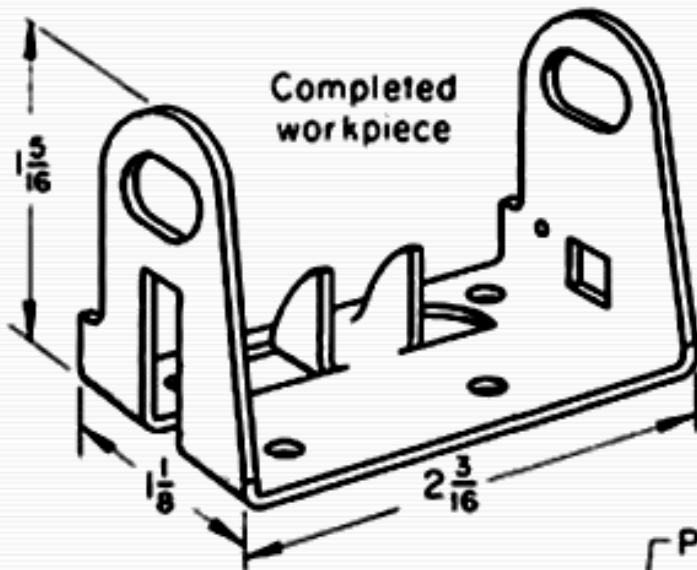
Conformação por efeito de tração além do LE da chapa realizada sobre o contorno de uma matriz côncava sendo que a **não há restrições para o movimento da chapa.**



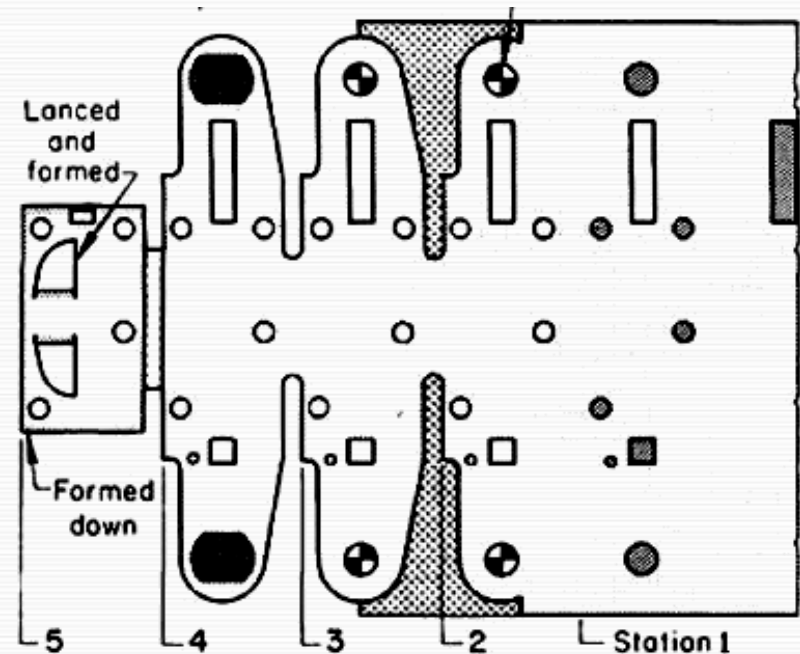
Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Estampagem



Peça pronta

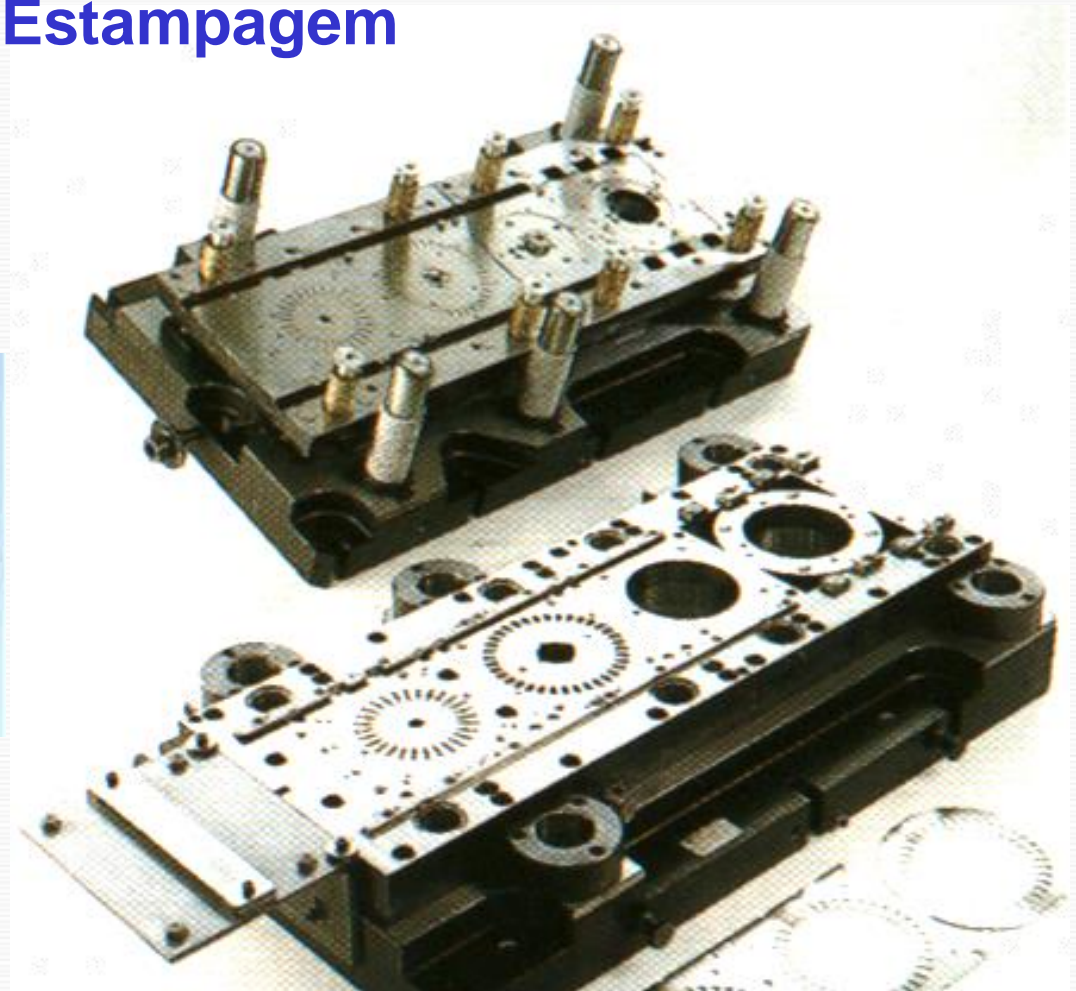
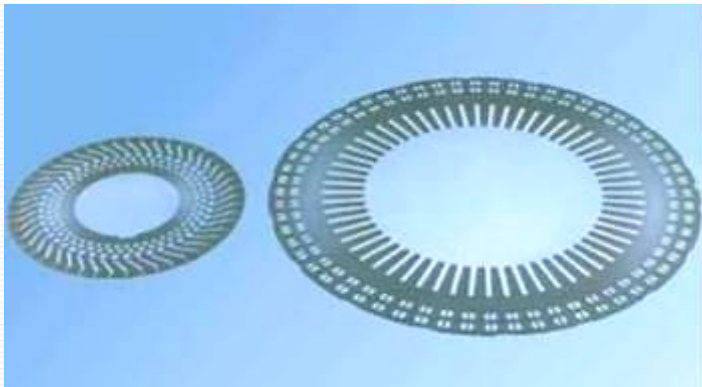


Seqüência de operações

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

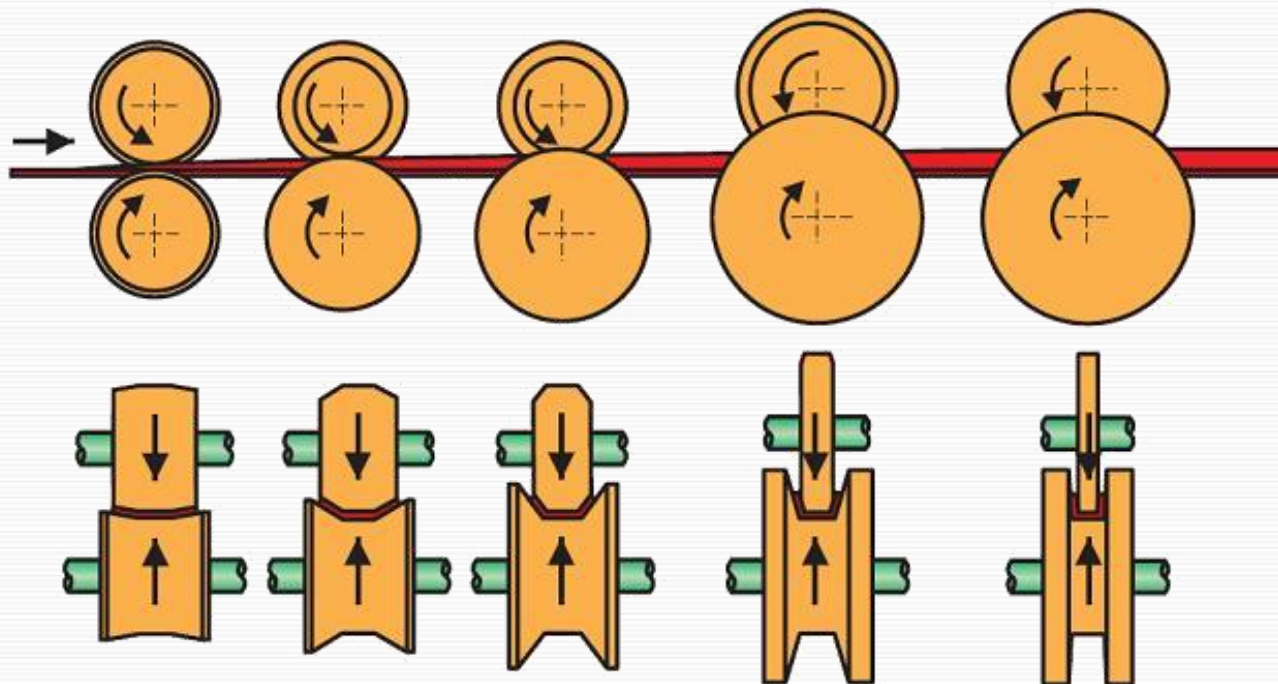
Estampagem



Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Outras operações

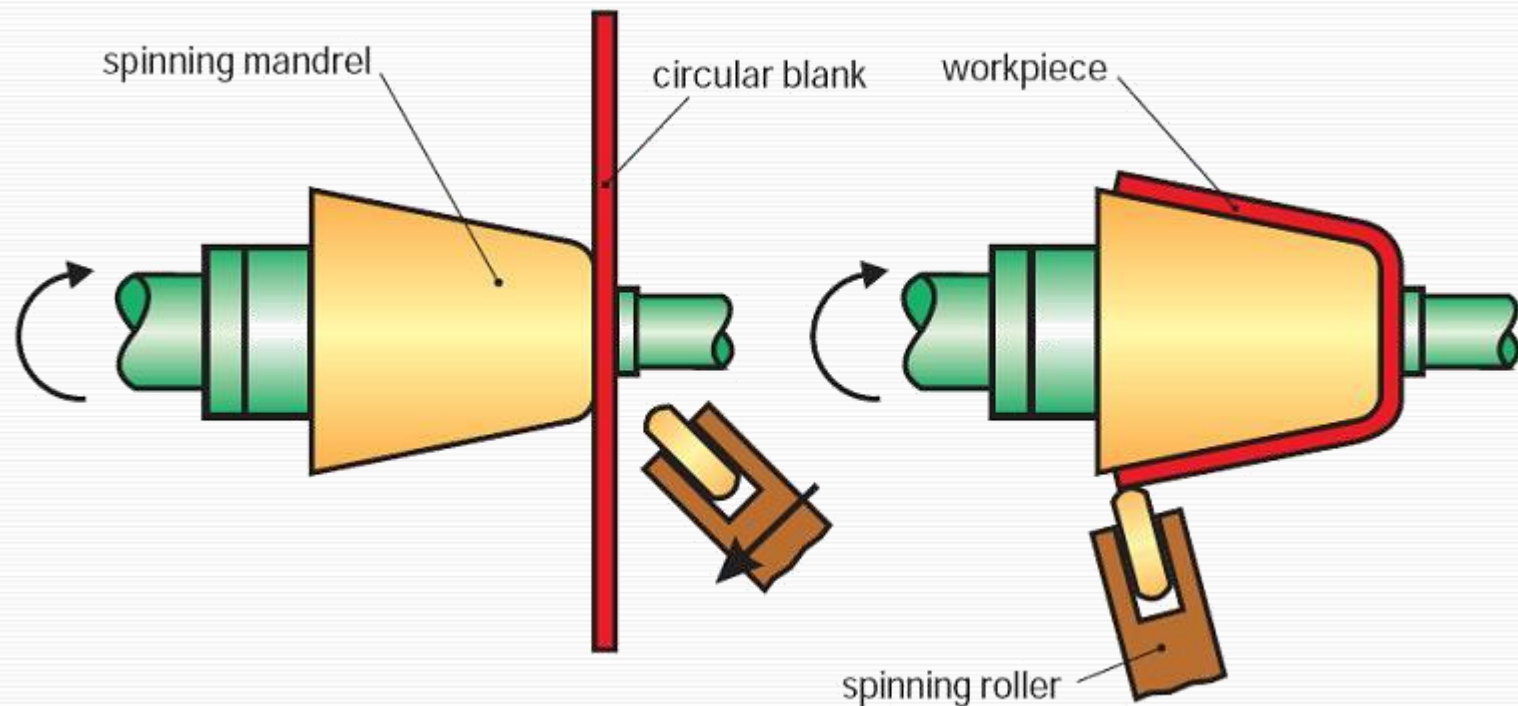


Laminação de chapas

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

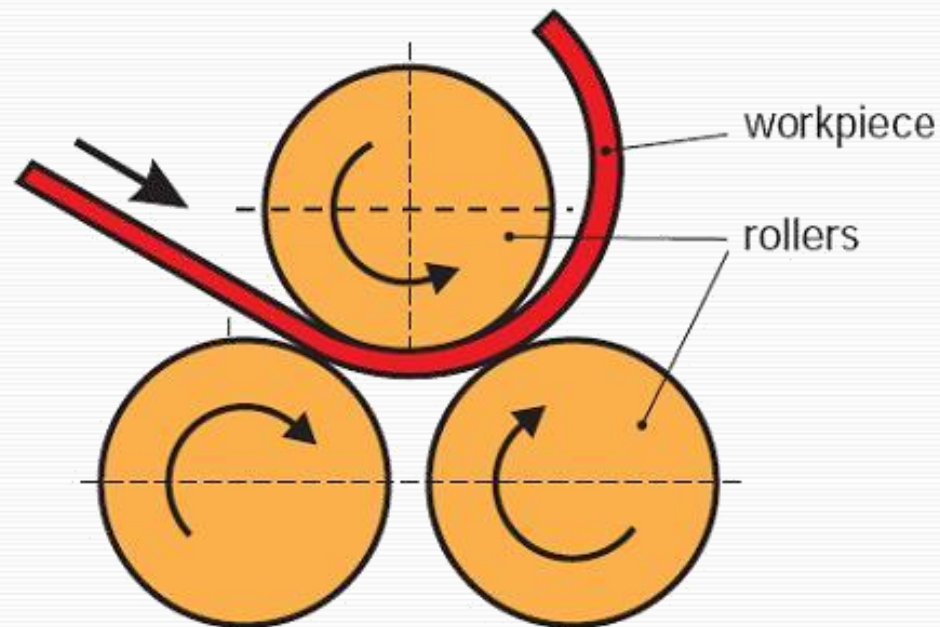
Outras operações



Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Outras operações



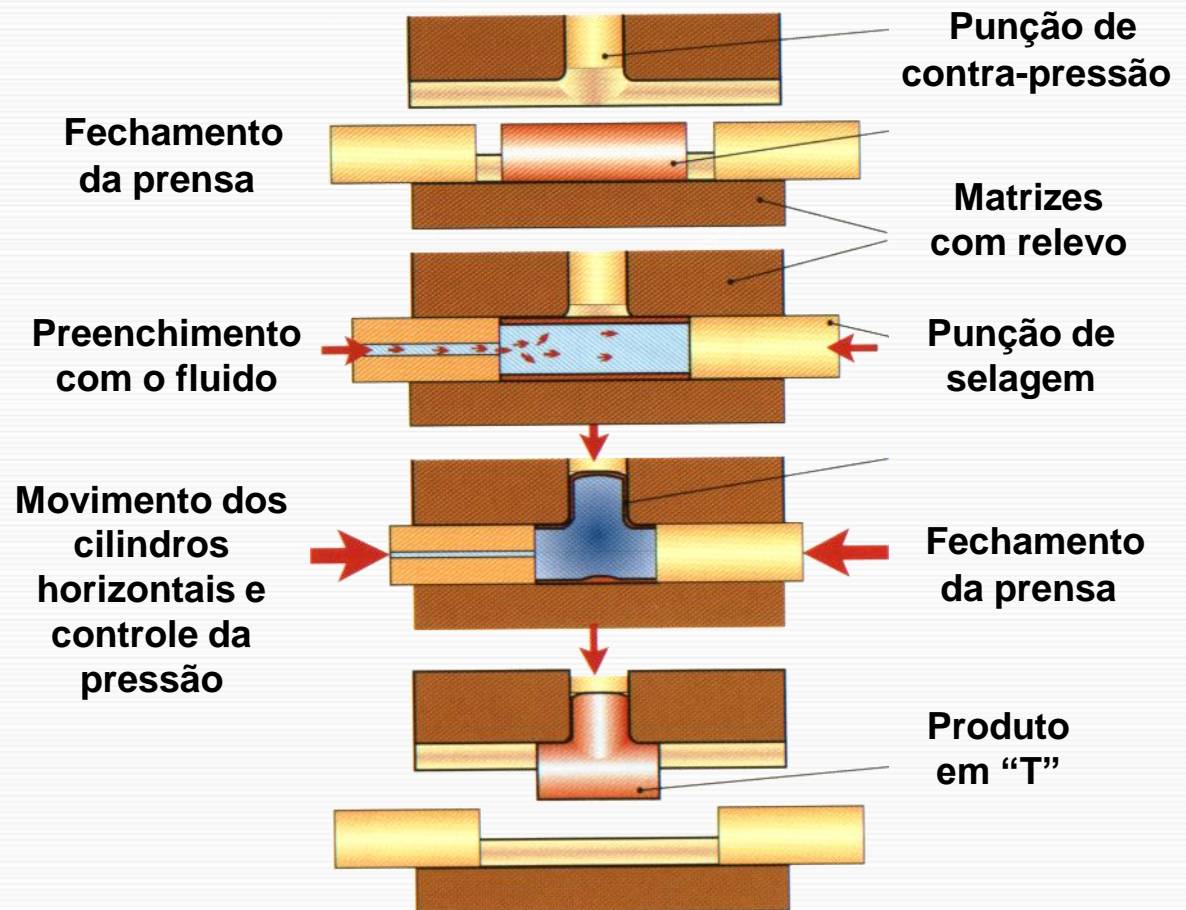
Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Outras operações



**Hidroconformação
(hidroforming)**



Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

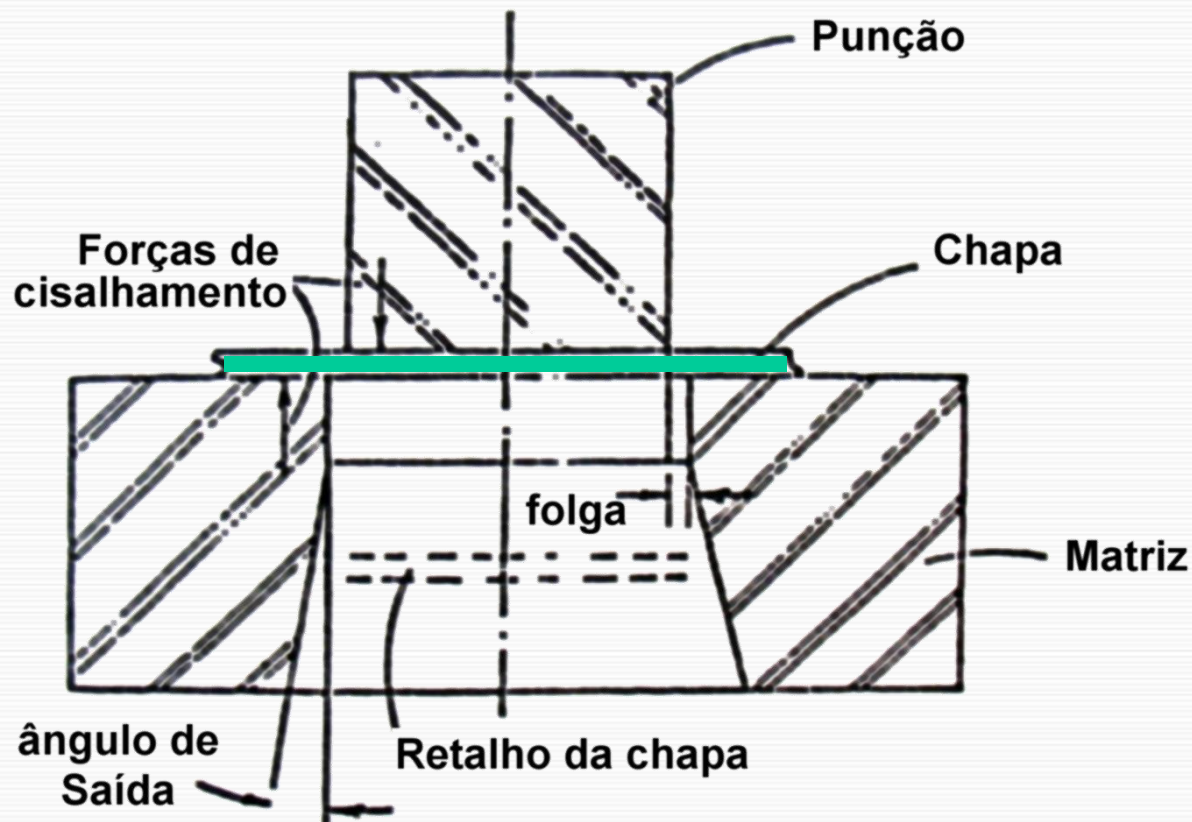
Equipamentos

- **Máquinas**
 - **Prensas mecânicas**
 - **Prensas hidráulicas**
 - **Máquinas especiais (guilhotinas, calandras, tornos repuxadores, perfiladores de rolos, tesouras, etc..)**
- **Ferramental Básico**
 - **Matrizes**
 - **Punções**
 - **Sujeitadores (prendedores de chapas)**
 - **Ejetores e extratores;**

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Corte de chapas

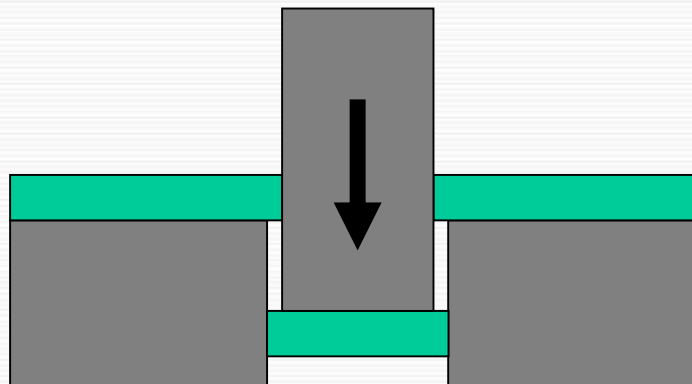


Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Corte de chapas

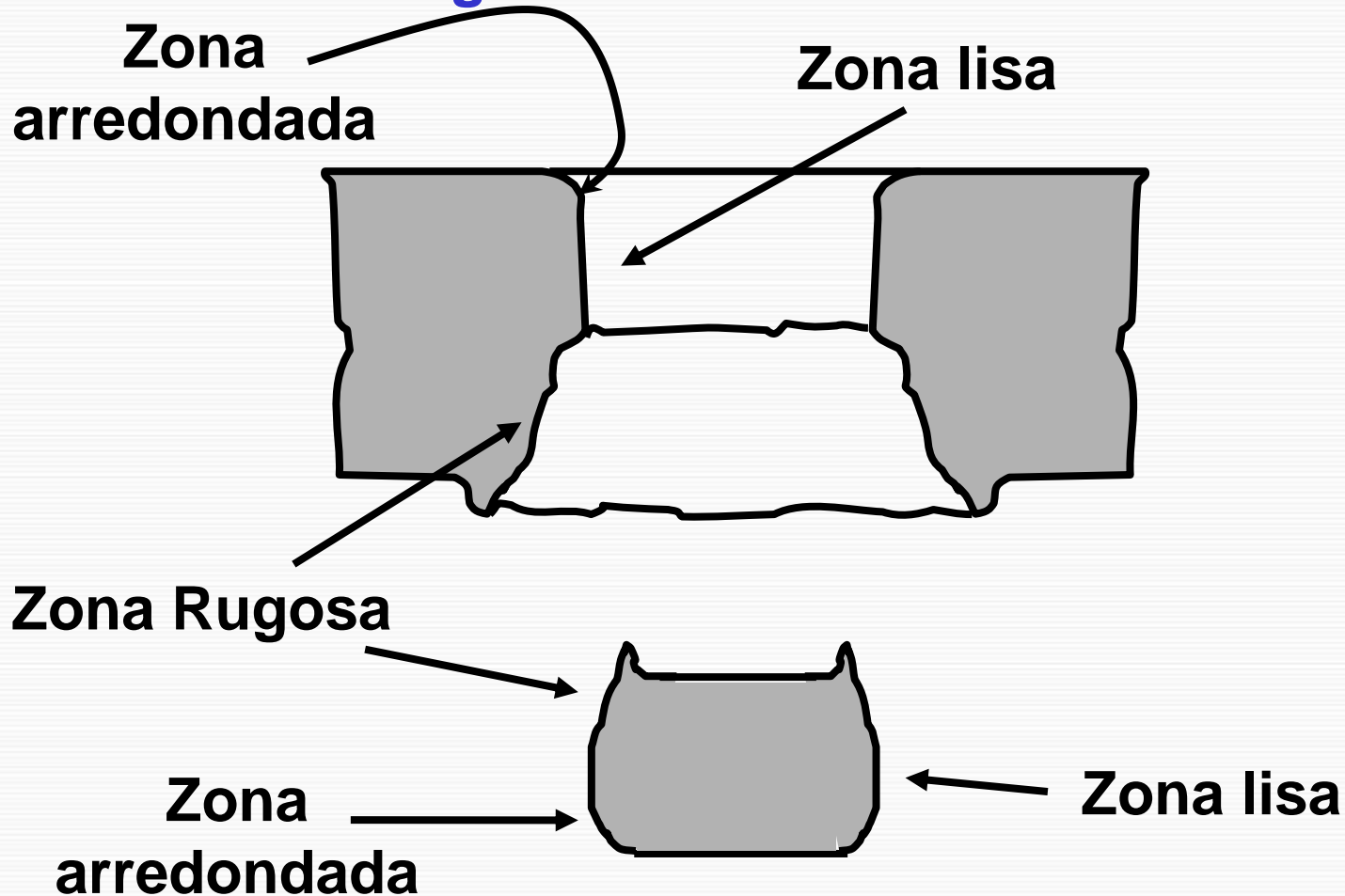
- A folga é importante pois determina a qualidade da superfície cortada e da energia consumida no corte;
- A dimensão da peça extraída da chapa é dado pela matriz;
- A dimensão da peça remanescente na chapa é dada pelo punção



Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Regiões na aresta de corte



Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

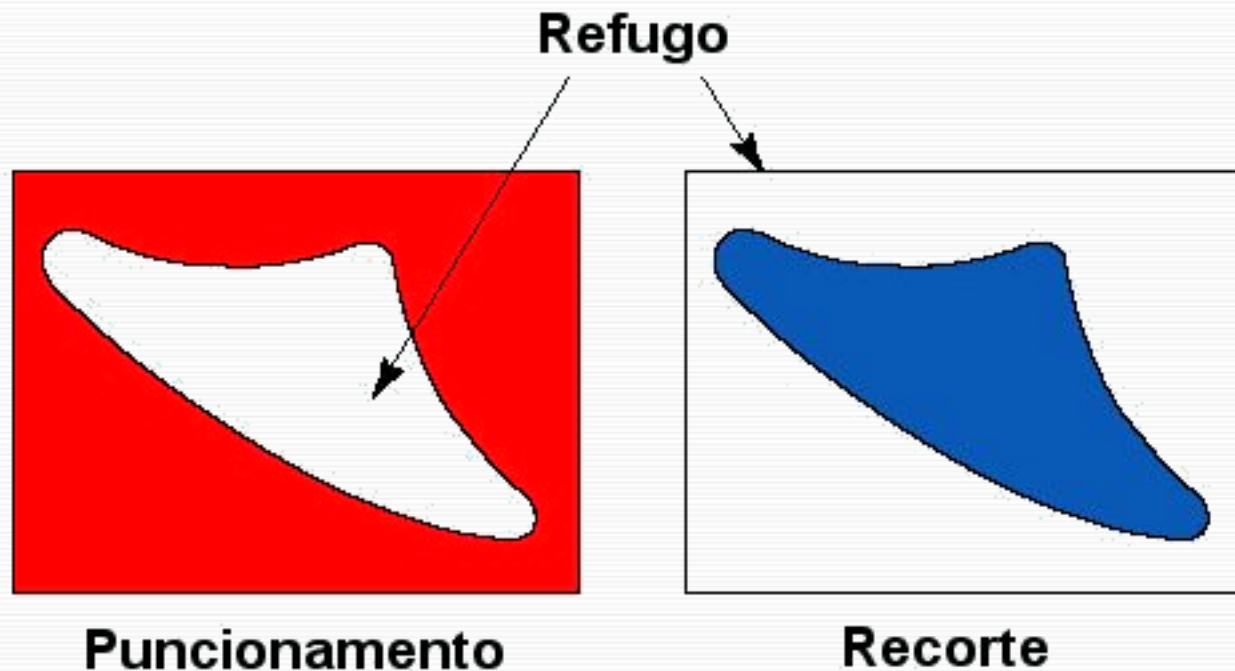
Tipos de Corte Mais comuns

- **Recorte** – Operação de corte seguindo uma linha fechada na qual a parte interna separada é a peça desejada;
- **Puncionamento** – corte segundo uma linha fechada na qual a parte interna separada é o refugo;
- **Entalhamento** – puncionamento de reentrâncias nas bordas de uma chapa;
- **Seccionamento** – corte que separa completamente a peça da chapa deixando um refugo
- **Cisalhamento** – corte que separa completamente a peça da chapa sem produzir refugo

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Tipos de Corte Mais comuns

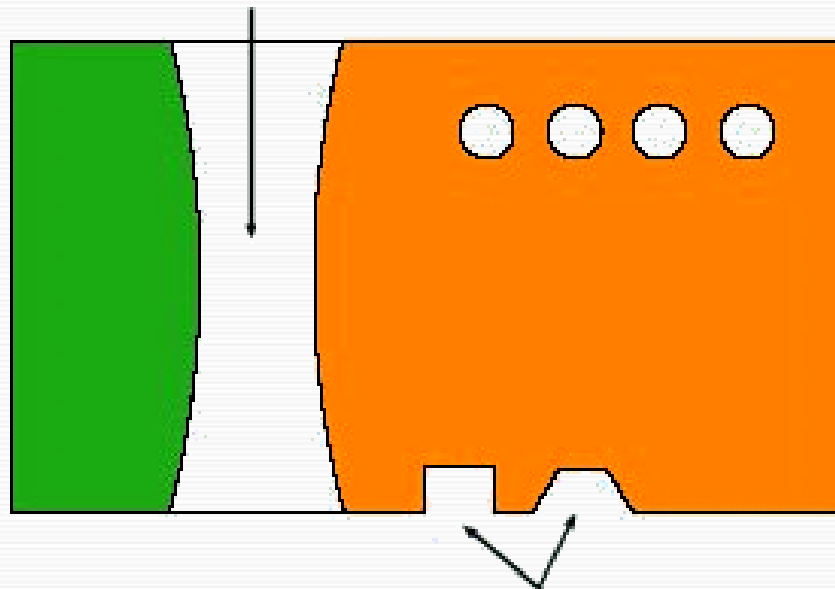


Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Tipos de Corte Mais comuns

Seccionamento

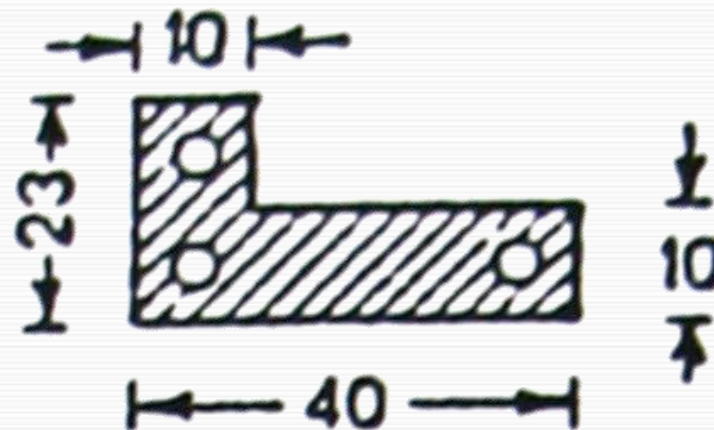


Entalhamento

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Layout da Chapa



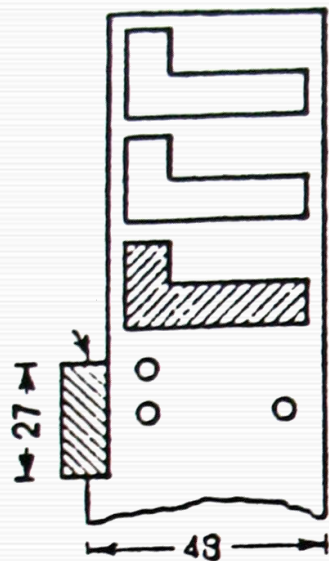
Recorte

Conformação Mecânica

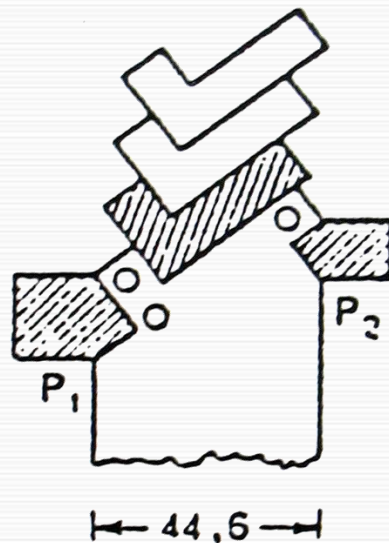
CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Layout da Chapa

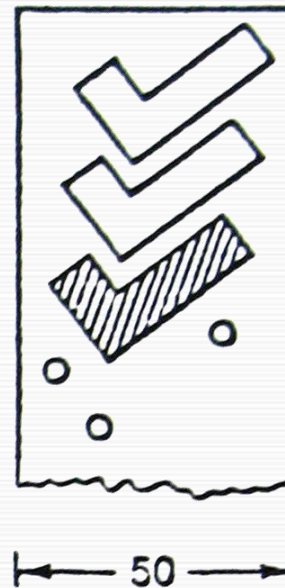
41%



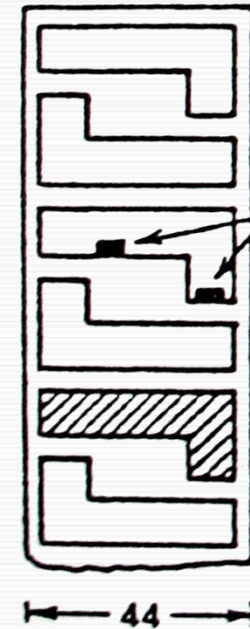
83%



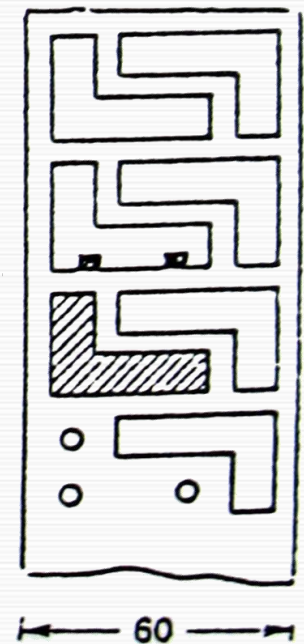
62%



60%



71%



Muito desperdício

Peças imprecisas

Inclinação

Inversão

Dupla fiada

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Força de corte

$$F_c = e \cdot p \cdot \tau_R$$

e - espessura

p - perímetro de corte

τ_R - tensão de ruptura

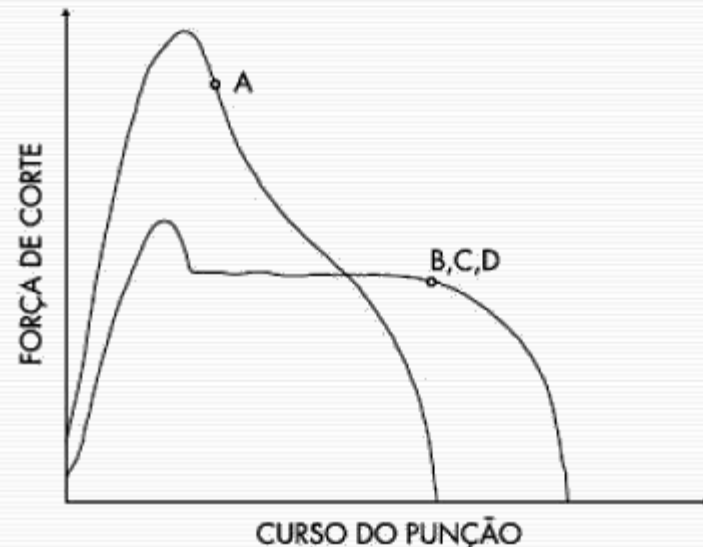
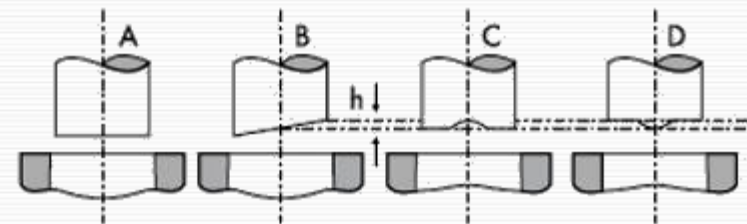


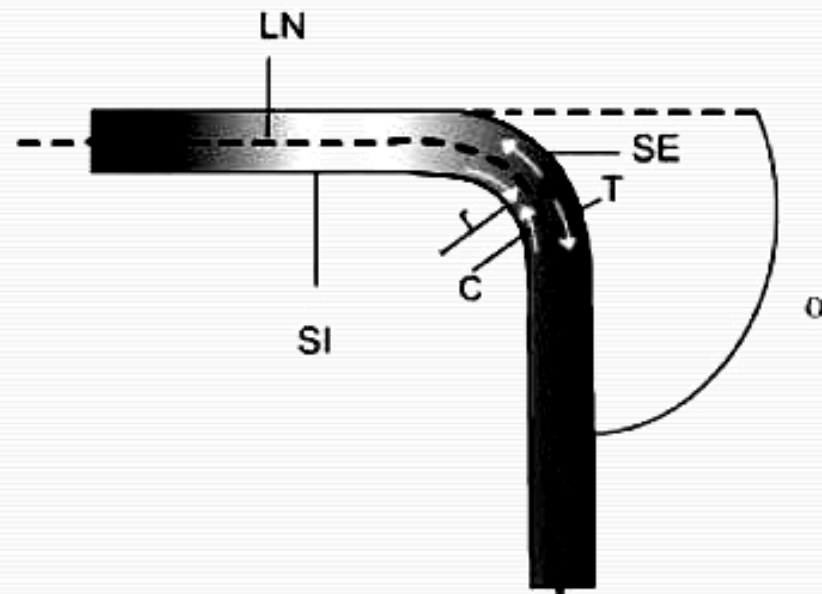
Gráfico de forças de corte envolvidas em função da inclinação das arestas de corte

Material	Ruptura
Aço < 0,3%C e Alumínio	$\tau_r = 0,6 \sigma$
Aço 0,3 a 0,7%C	$\tau_r = 0,75 \sigma$
Aço > 0,7%C	$\tau_r = \sigma$

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Dobramento



LN: Linha neutra

SI :Superfície interna

SE: Superfície externa

r: Raio de concordância

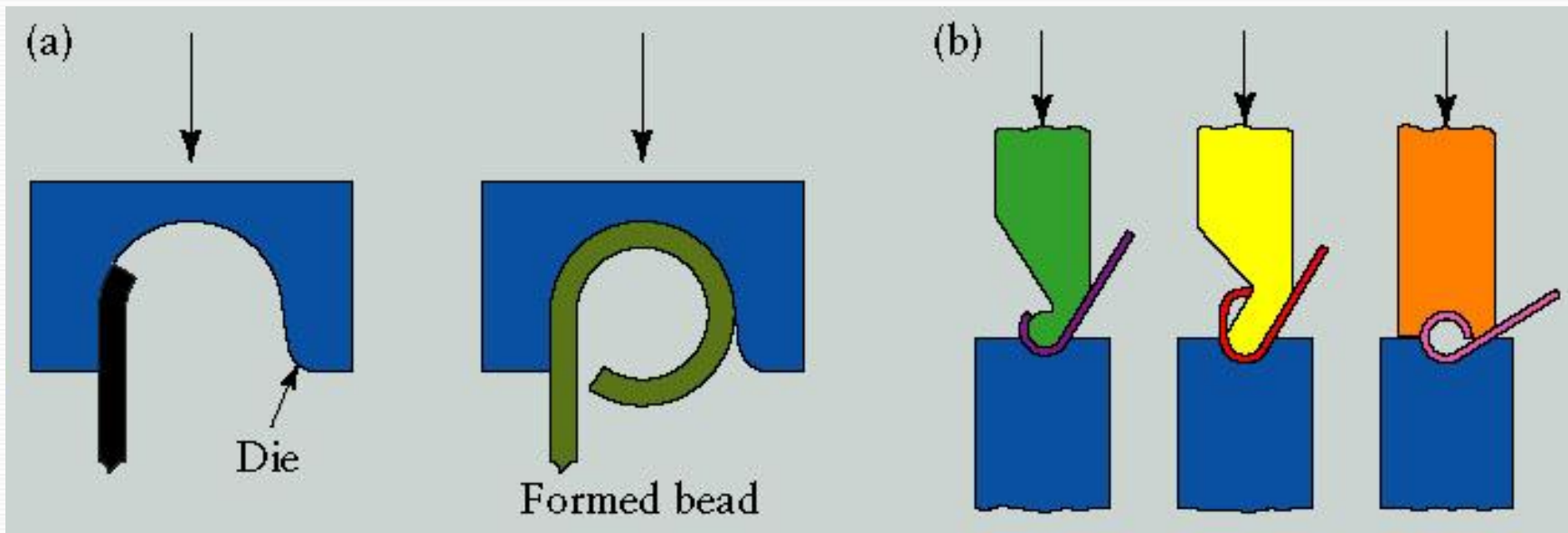
C : Força de compressão

T : Força de tração

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

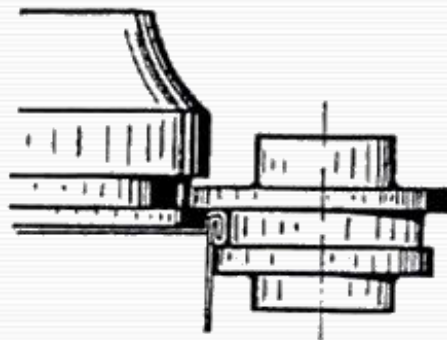
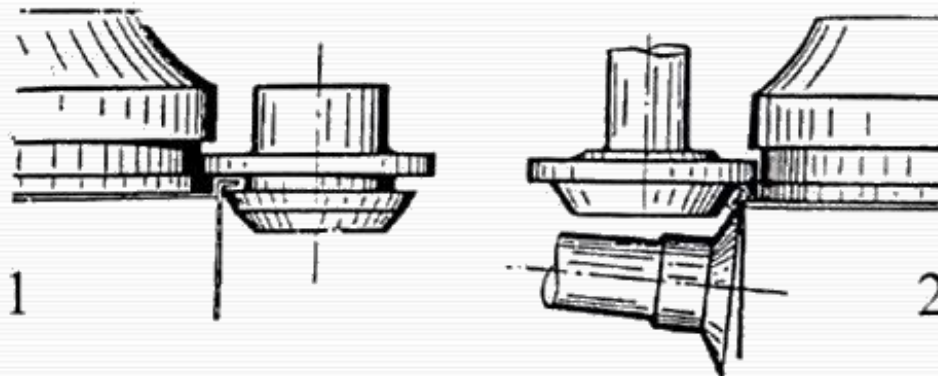
Operações de dobramento



Conformação Mecânica

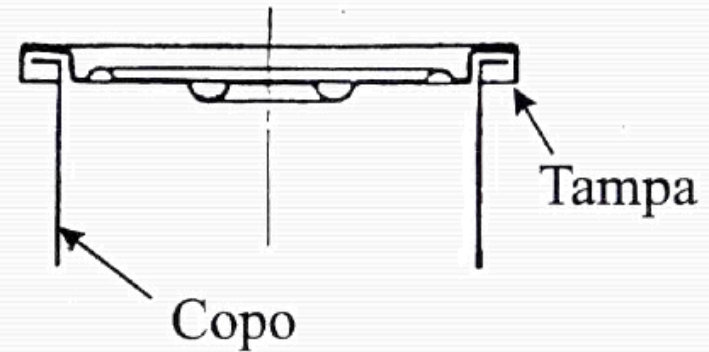
CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Operações de dobramento



3

Recravamento



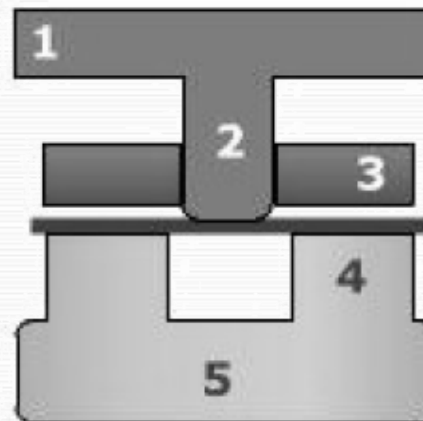
Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

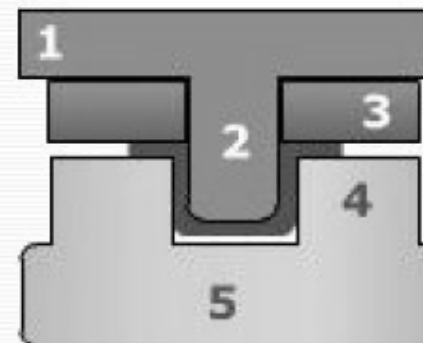
Embutimento



Chapa conformada



- 1- Suporte de punção
- 2- Punção ou penetrador
- 3- Prensa chapas ou sujeitador
- 4- Matriz
- 5- Suporte da matriz

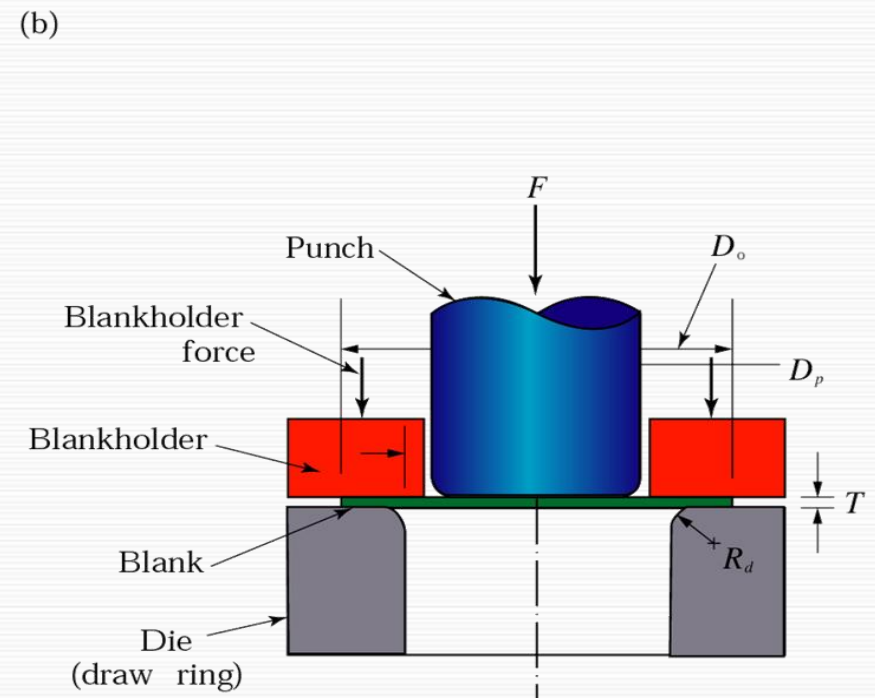
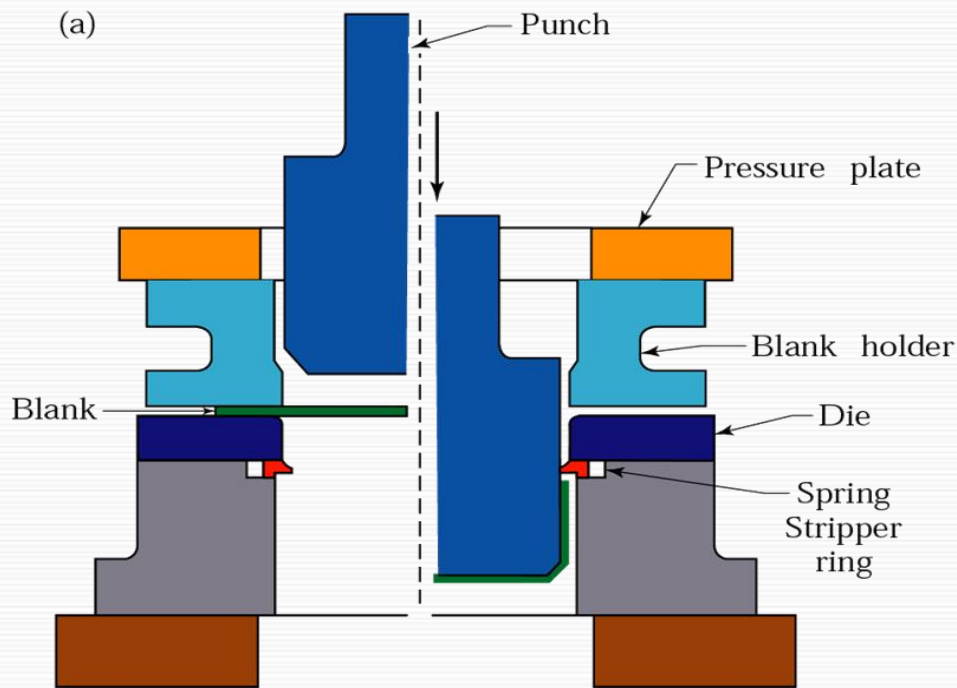


- 1- Suporte de punção
- 2- Punção ou penetrador
- 3- Prensa chapas ou sujeitador
- 4- Matriz
- 5- Suporte da matriz

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Embutimento

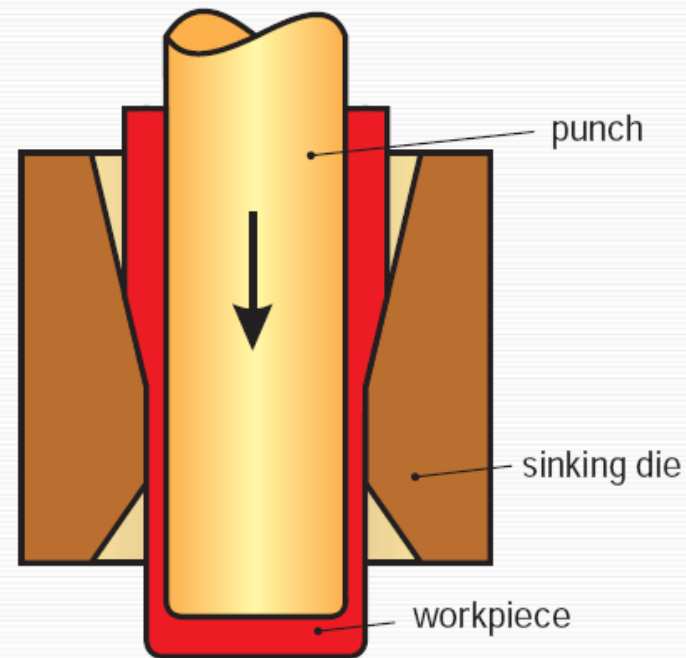


Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Operações de embutimento

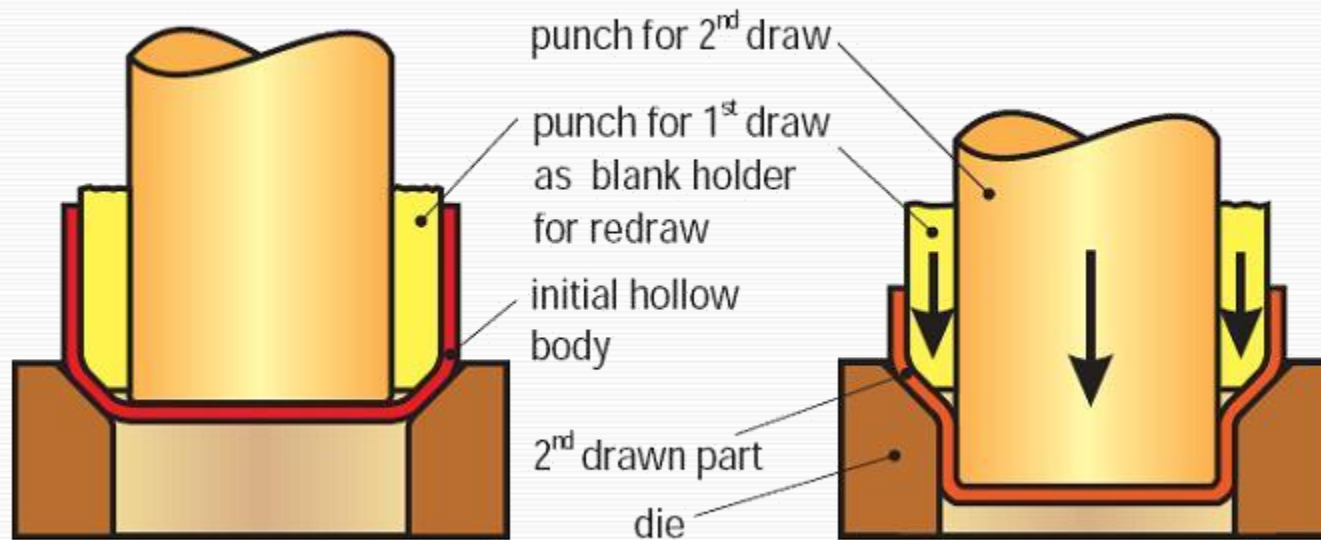
Trefilação por embutimento



Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Operações de embutimento

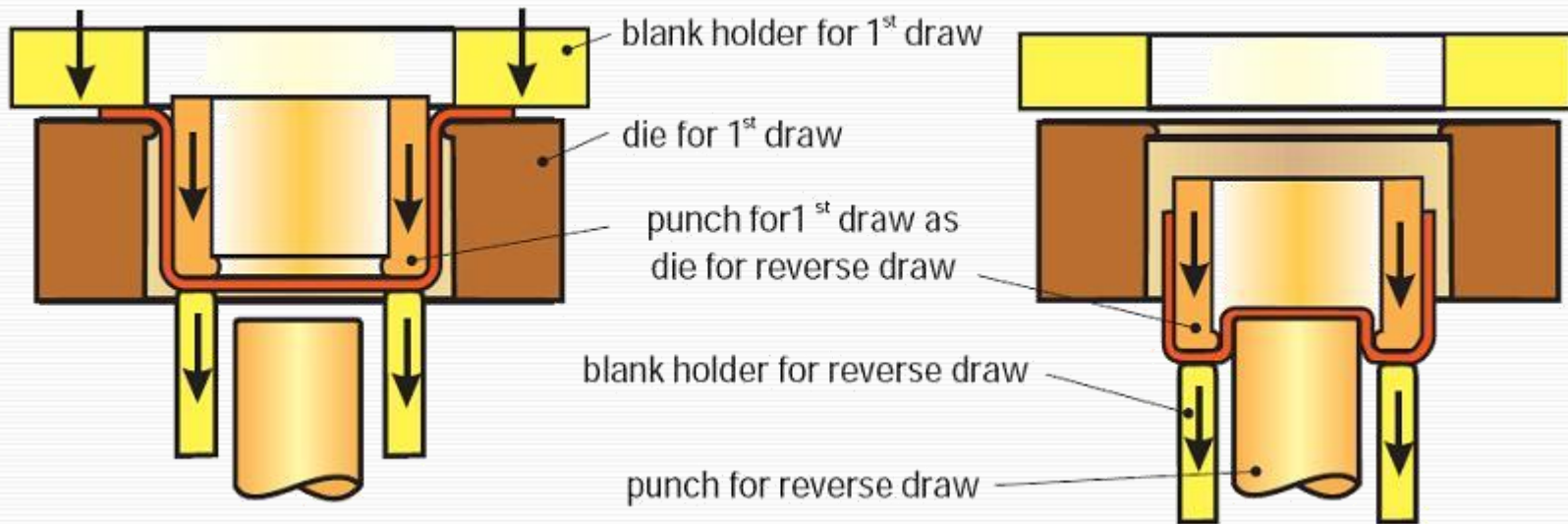


Reembutimento

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Operações de embutimento

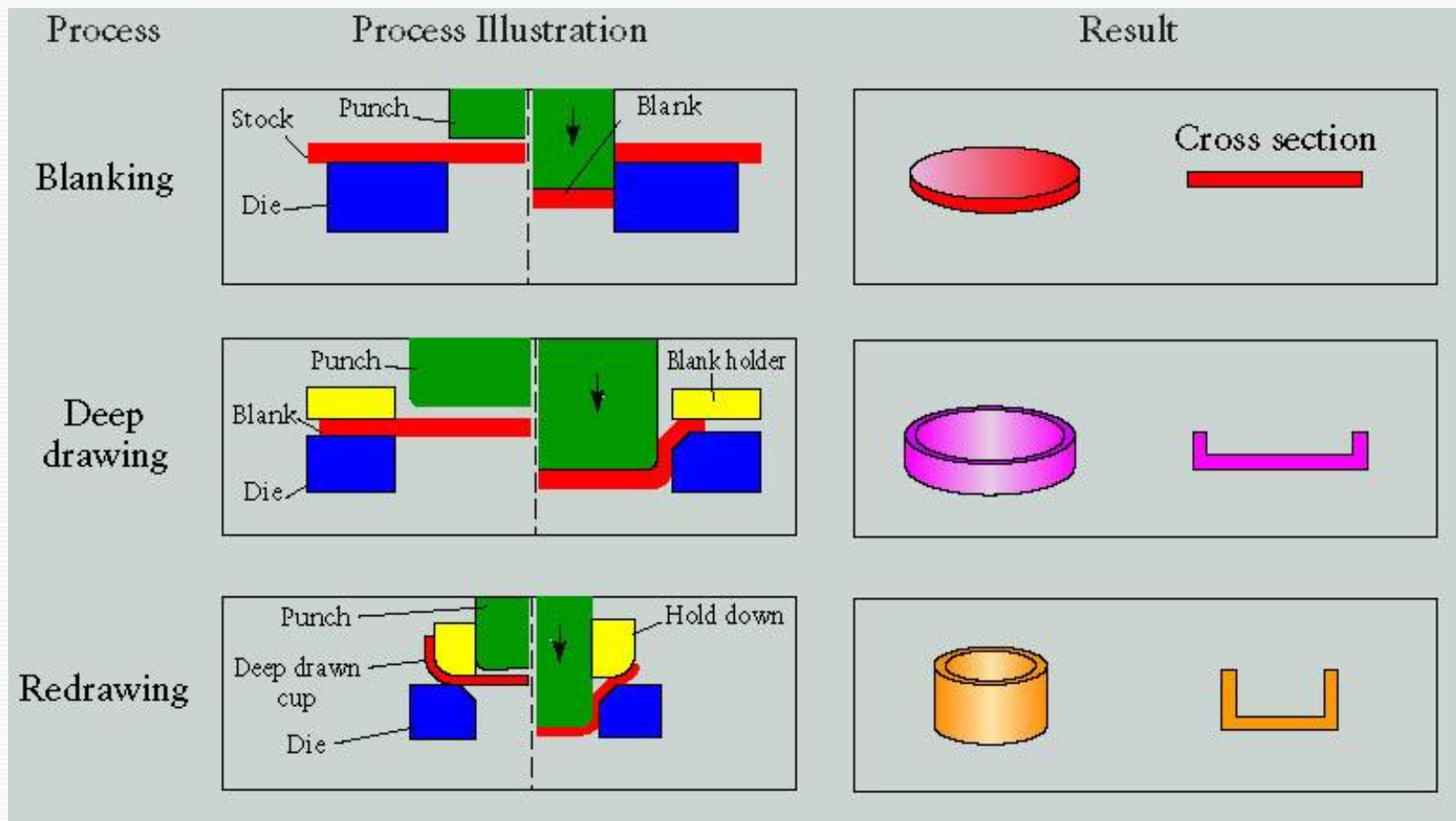


Embutimento reverso

Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

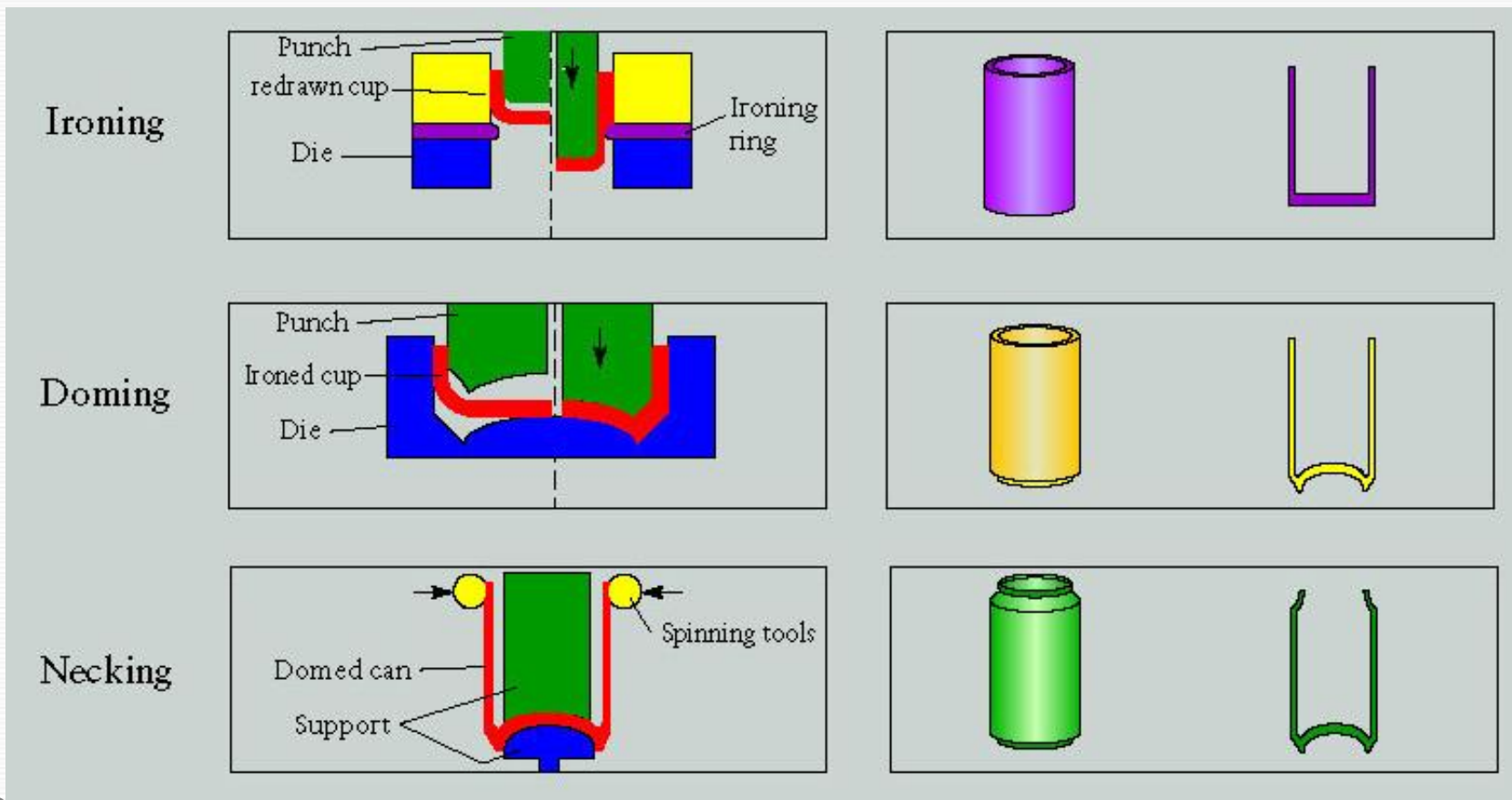
Embutimento – Latinhas de refrigerante



Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Embutimento – Latinhãs de refrigerante



Conformação Mecânica

CONFORMAÇÃO DE CHAPAS

Embutimento – Latinhãs de refrigerante

Seaming

