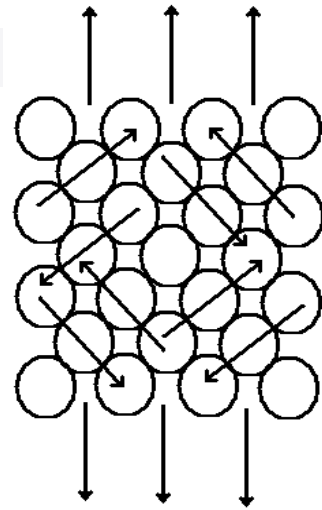


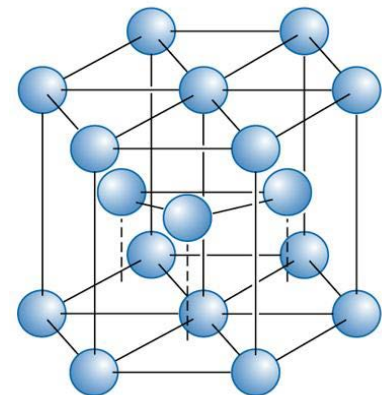
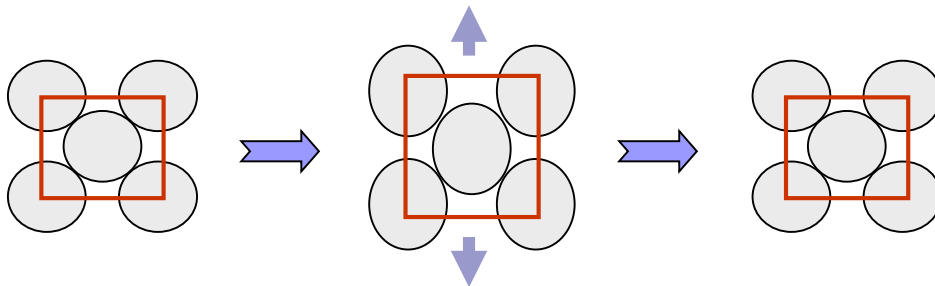
Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de Lorena

Departamento de Engenharia de Materiais



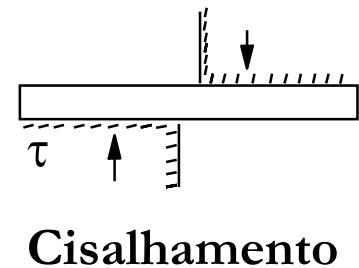
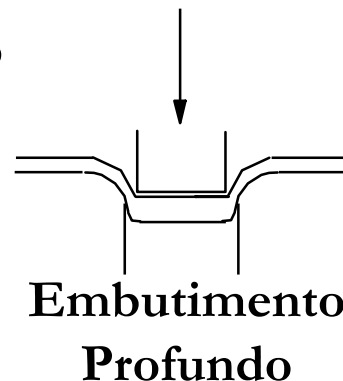
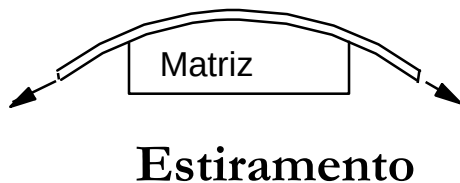
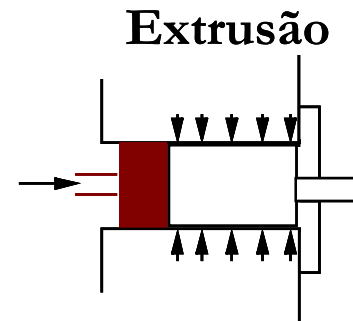
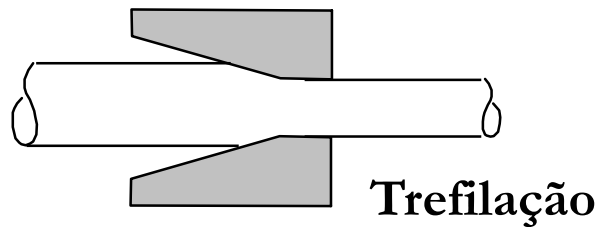
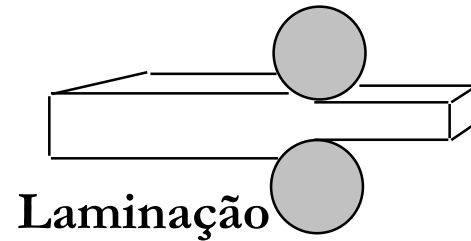
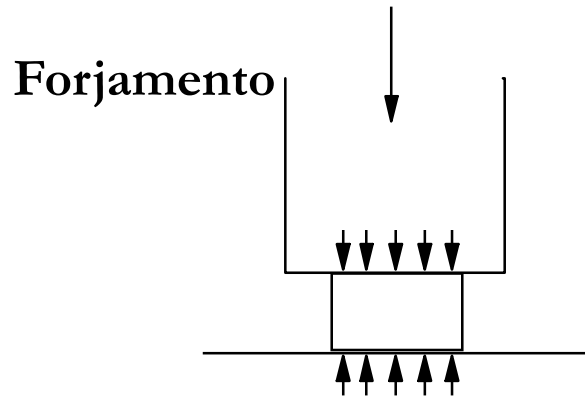
Conformação Plástica



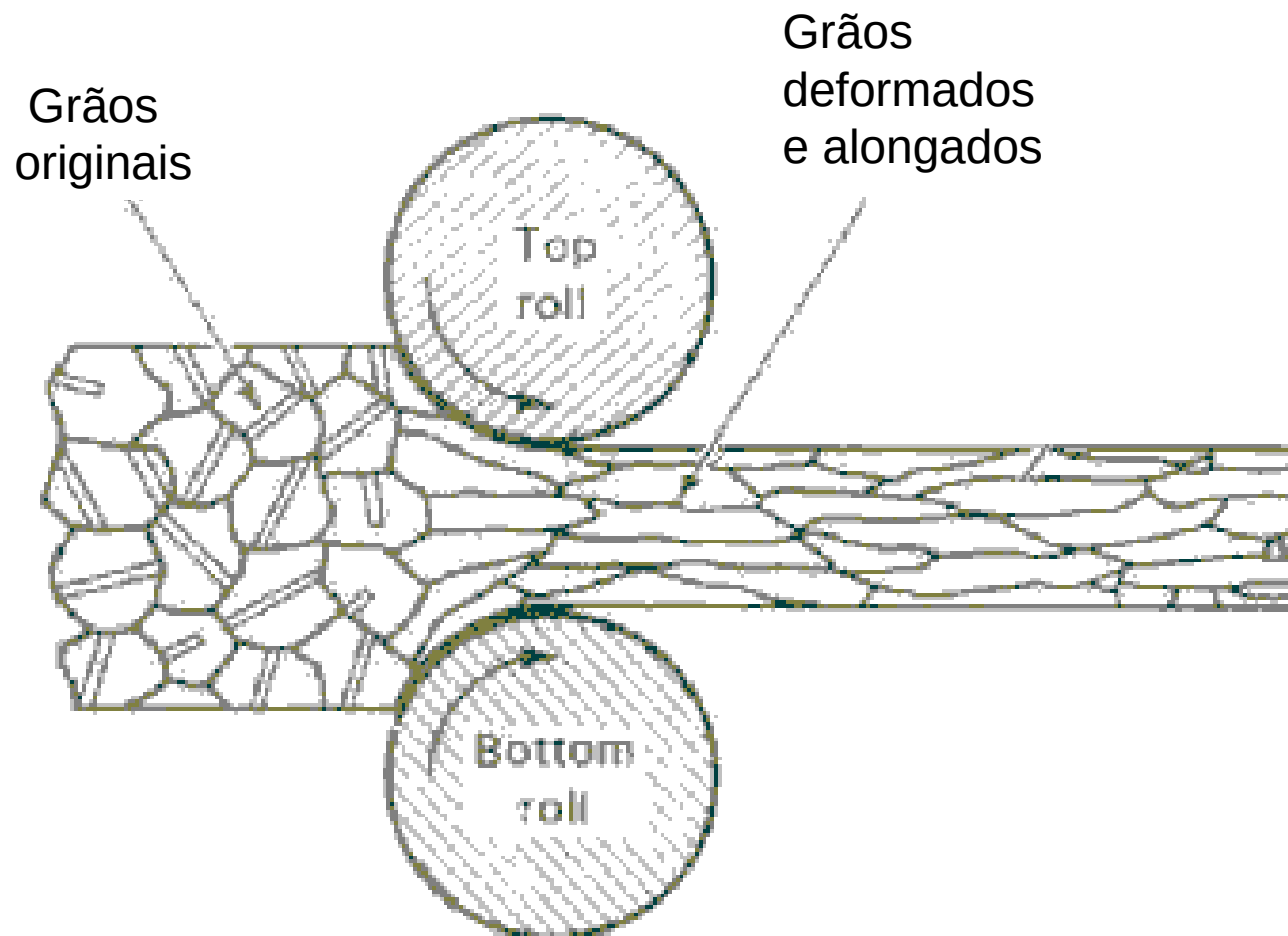
Introdução à Ciência dos Materiais

Prof. Dr. Cassius O.F.T. Ruchert, Professor Associado

PRINCÍPAIS TIPOS DE CONFORMAÇÃO



MECÂNICA DA LAMINAÇÃO A FRIO



MECÂNICA DA LAMINAÇÃO A FRIO

cena 1/2

Conformação
Processo de laminação a frio



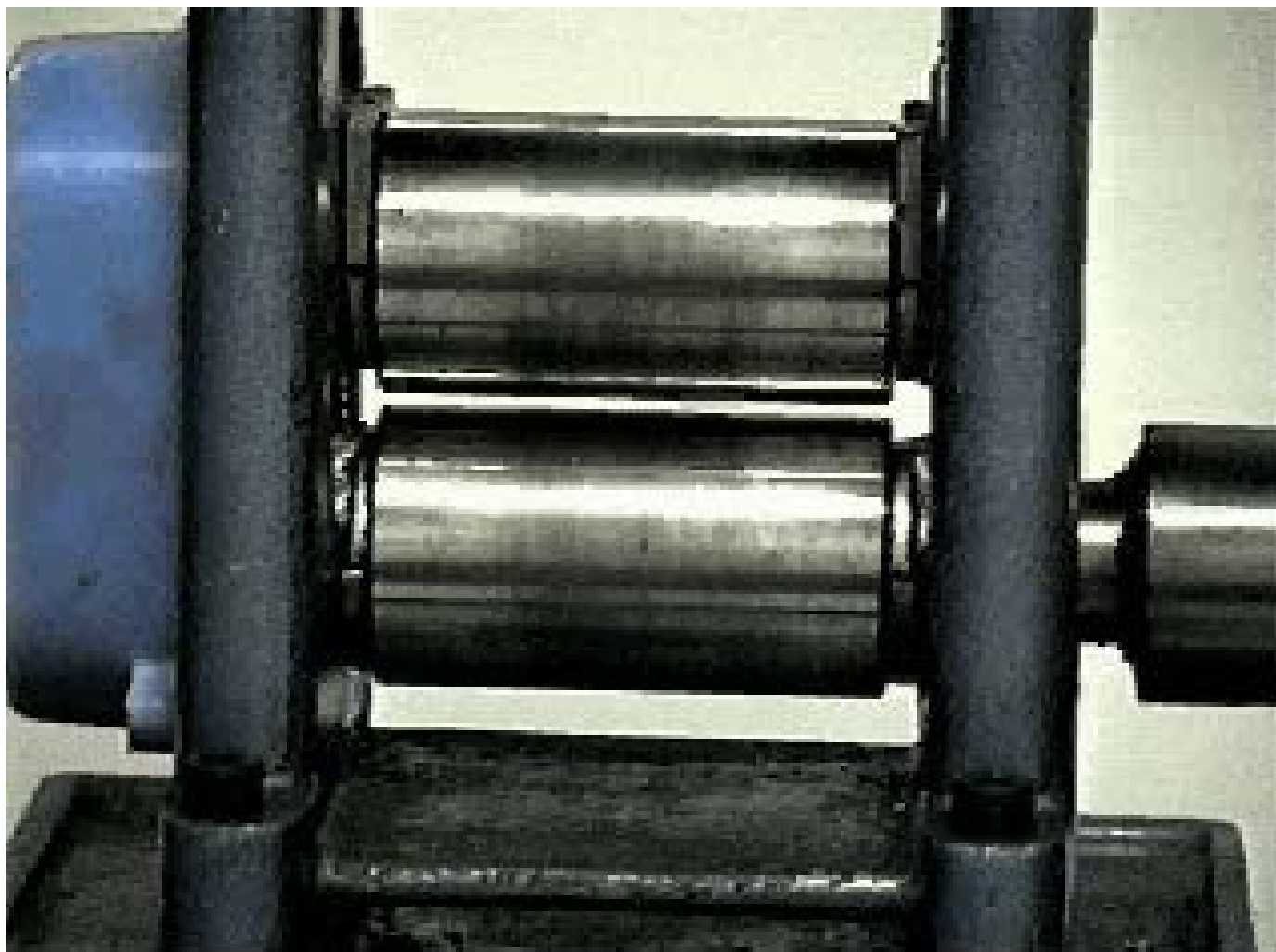
☒ Cena por cena

LAMINAÇÃO A FRIO

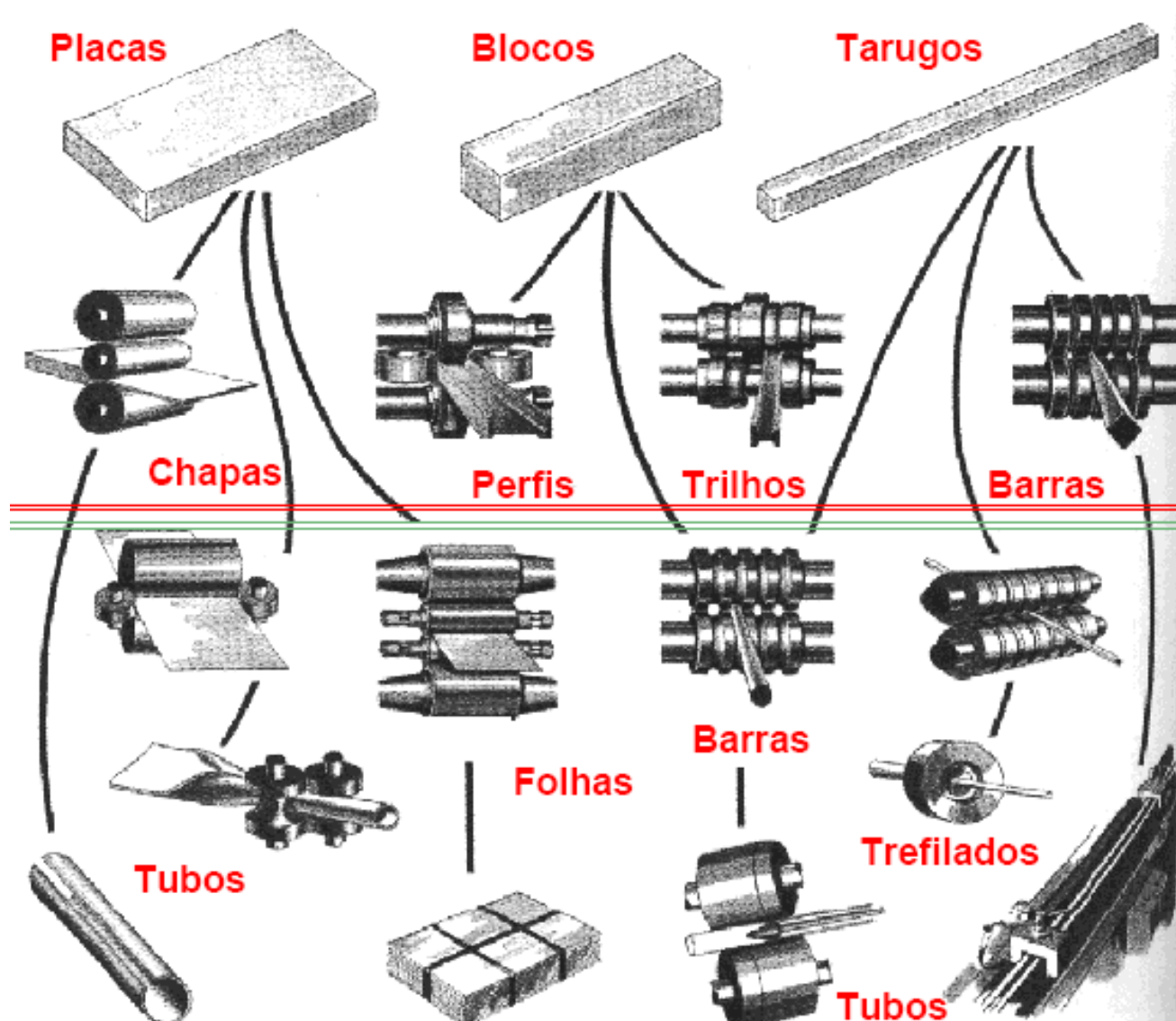


Laminador Tiras à Frio - USIMINAS

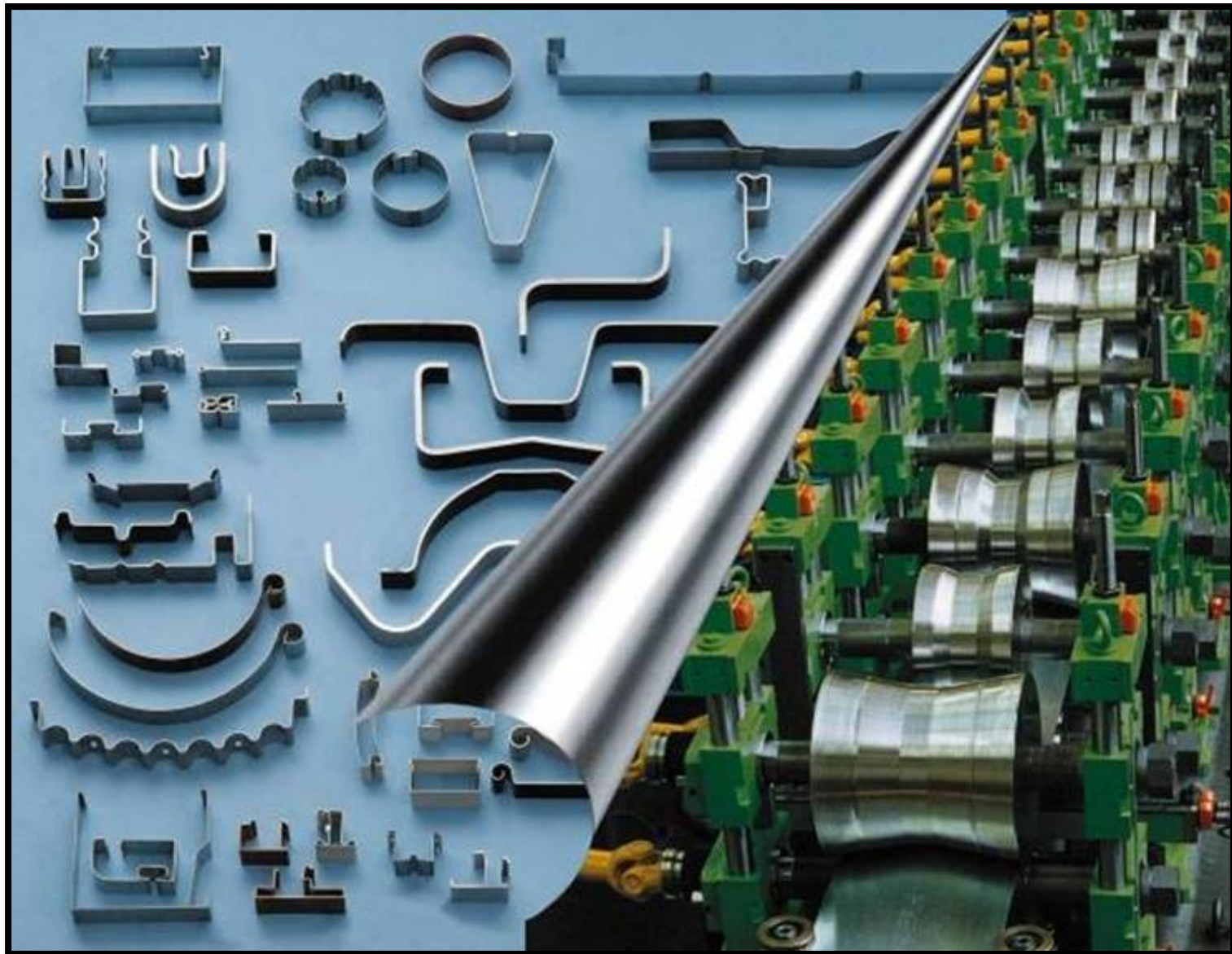
Laminação a Frio



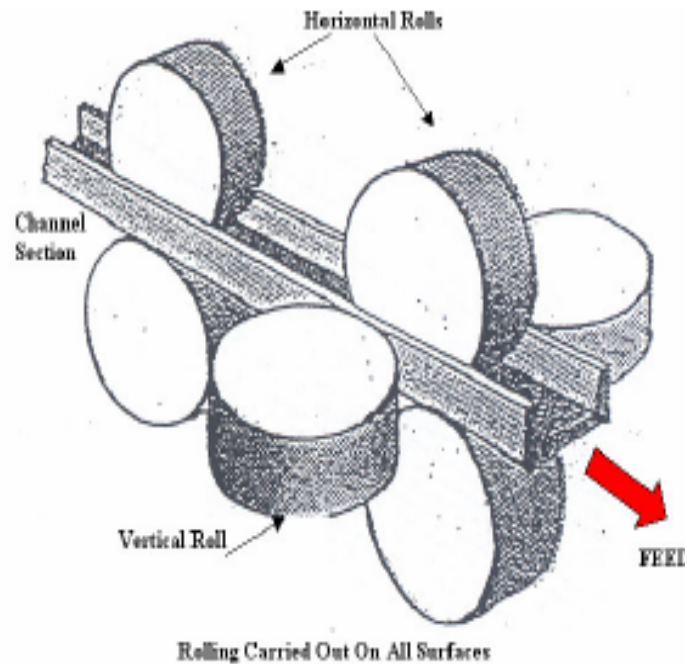
LAMINAÇÃO - PRODUTOS



LAMINADOR SEQUENCIAL DE PERFIS



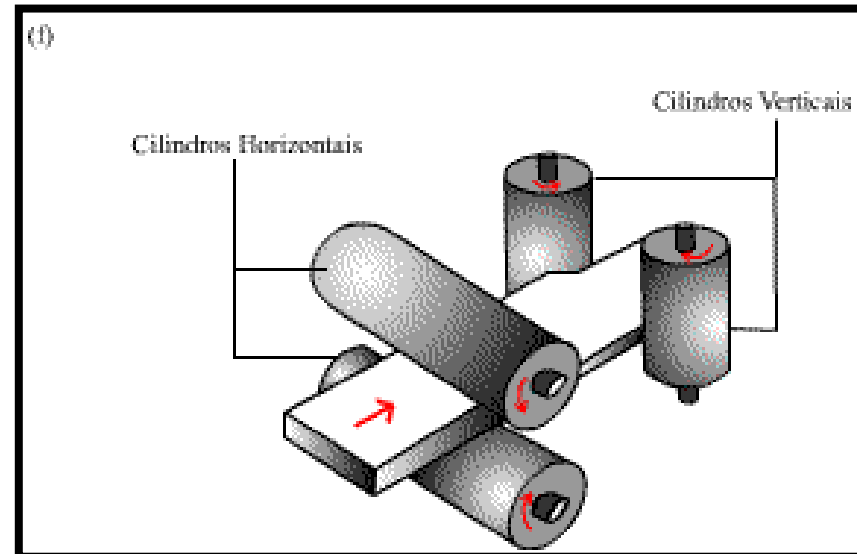
ARRANJOS TÍPICOS DE ROLOS PARA LAMINADORES



Conformação
Laminação de Barras e Perfis



LAMINADOR UNIVERSAL



MECÂNICA DA LAMINAÇÃO A QUENTE

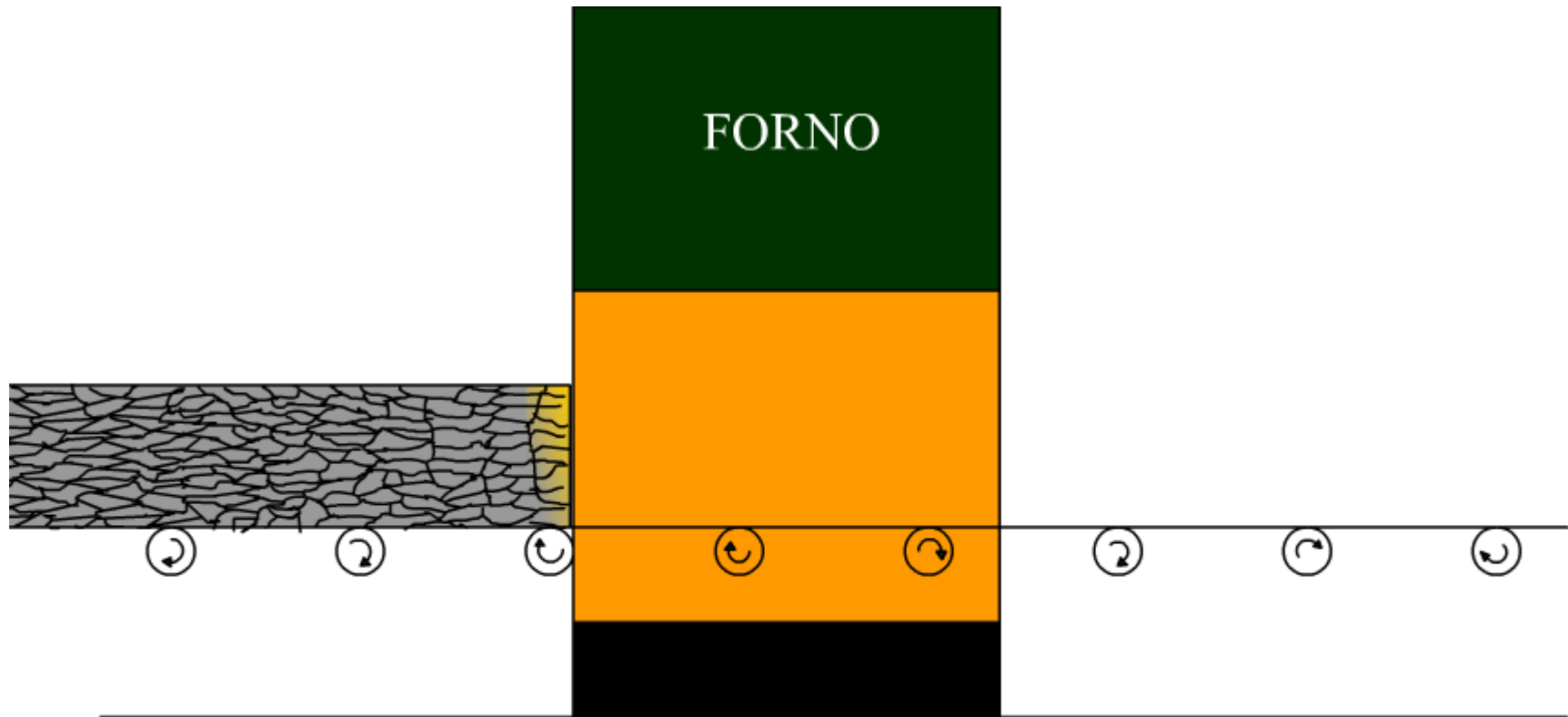
cena 1/2

Conformação
Processo de laminação a quente

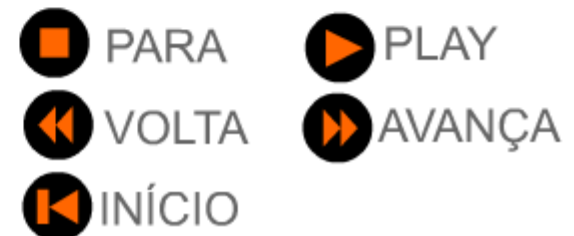


☒ Cena por cena

RECRISTALIZAÇÃO DINÂMICA



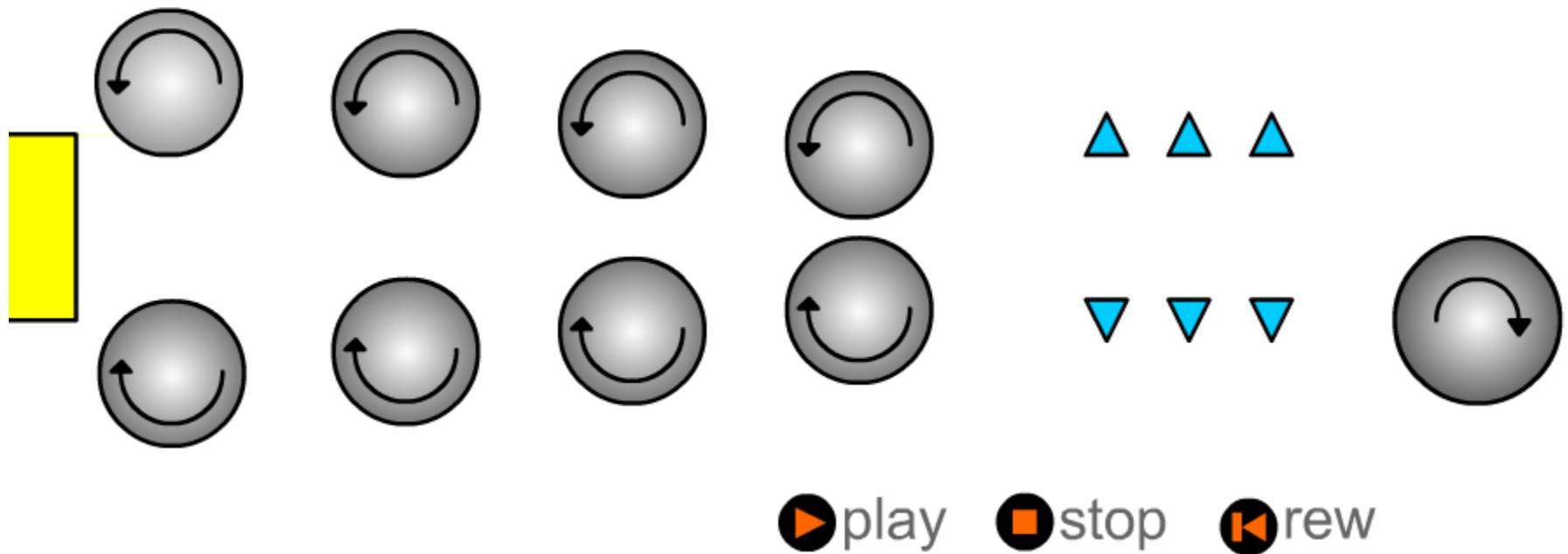
Processo de Recristalização



Laminação a Quente



Laminação Contínua



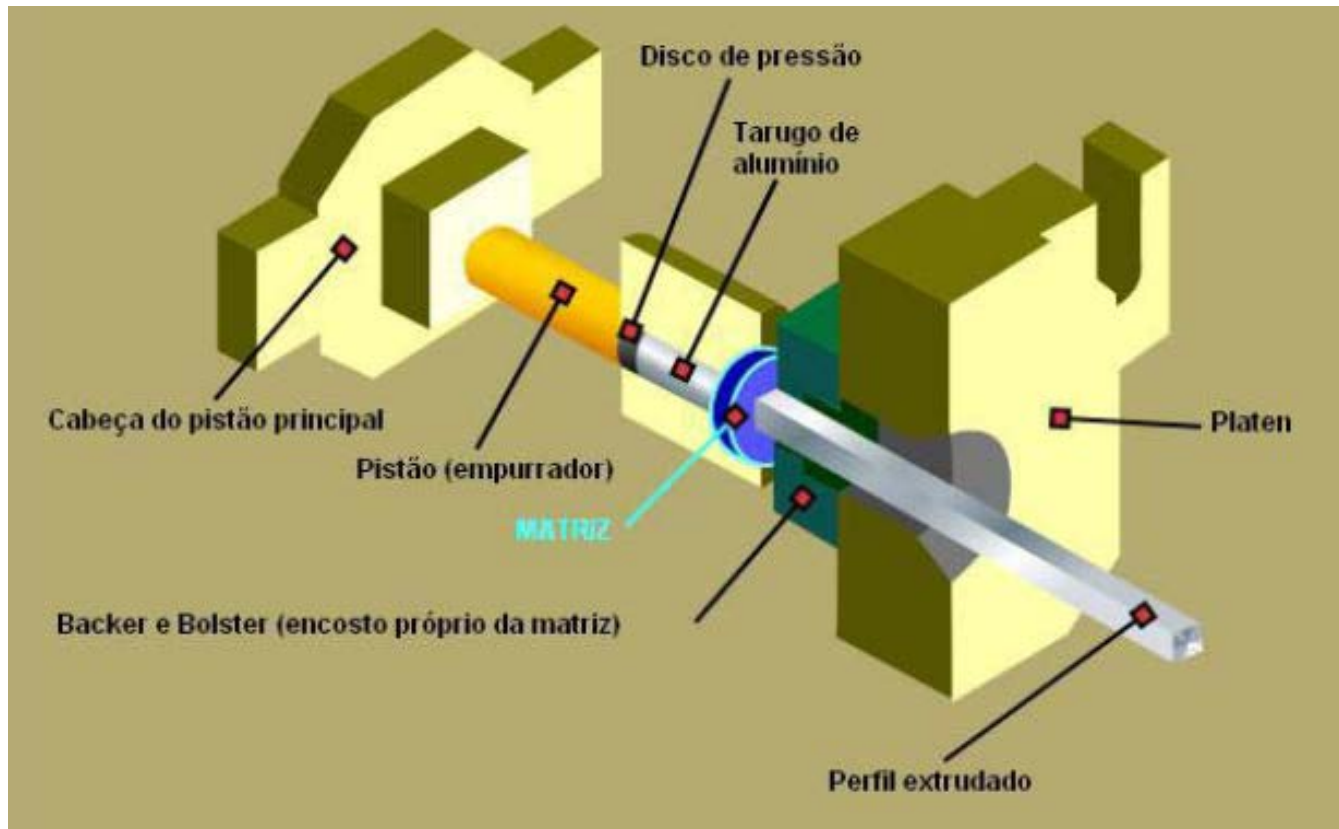
Trem Contínuo de Laminação a Quente

EXTRUSÃO

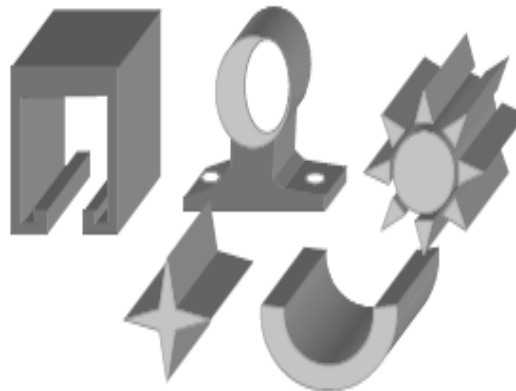


Como o tubo de creme dental, o metal não é líquido, mas se torna um sólido maleável no momento da extrusão, e assim ele pode assumir a forma desejada como se mudássemos o formato do bico do tubo de creme dental.

EXTRUSORA

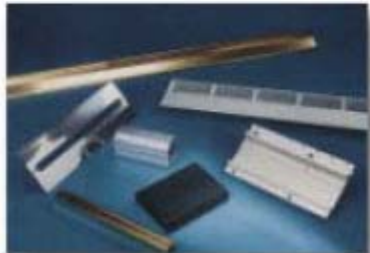


Common Extruded Shapes:

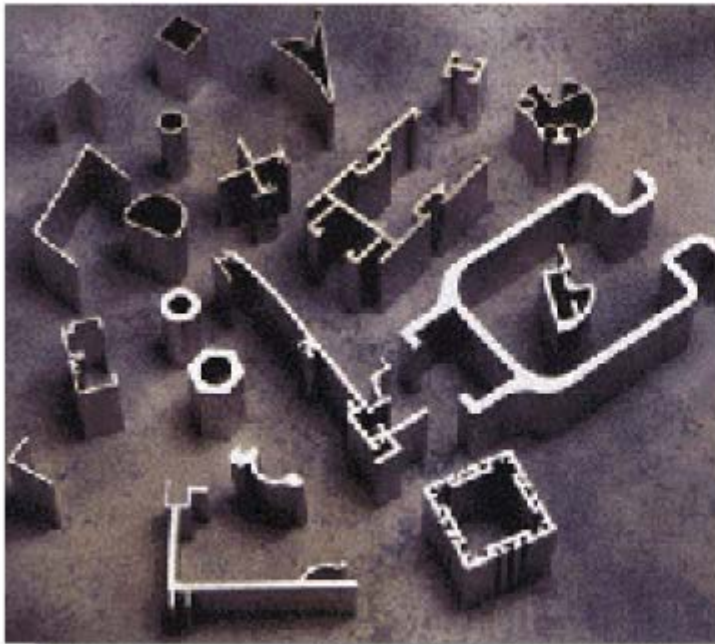


Process parameters:

EXTRUSÃO – PRODUTOS E PERFIS

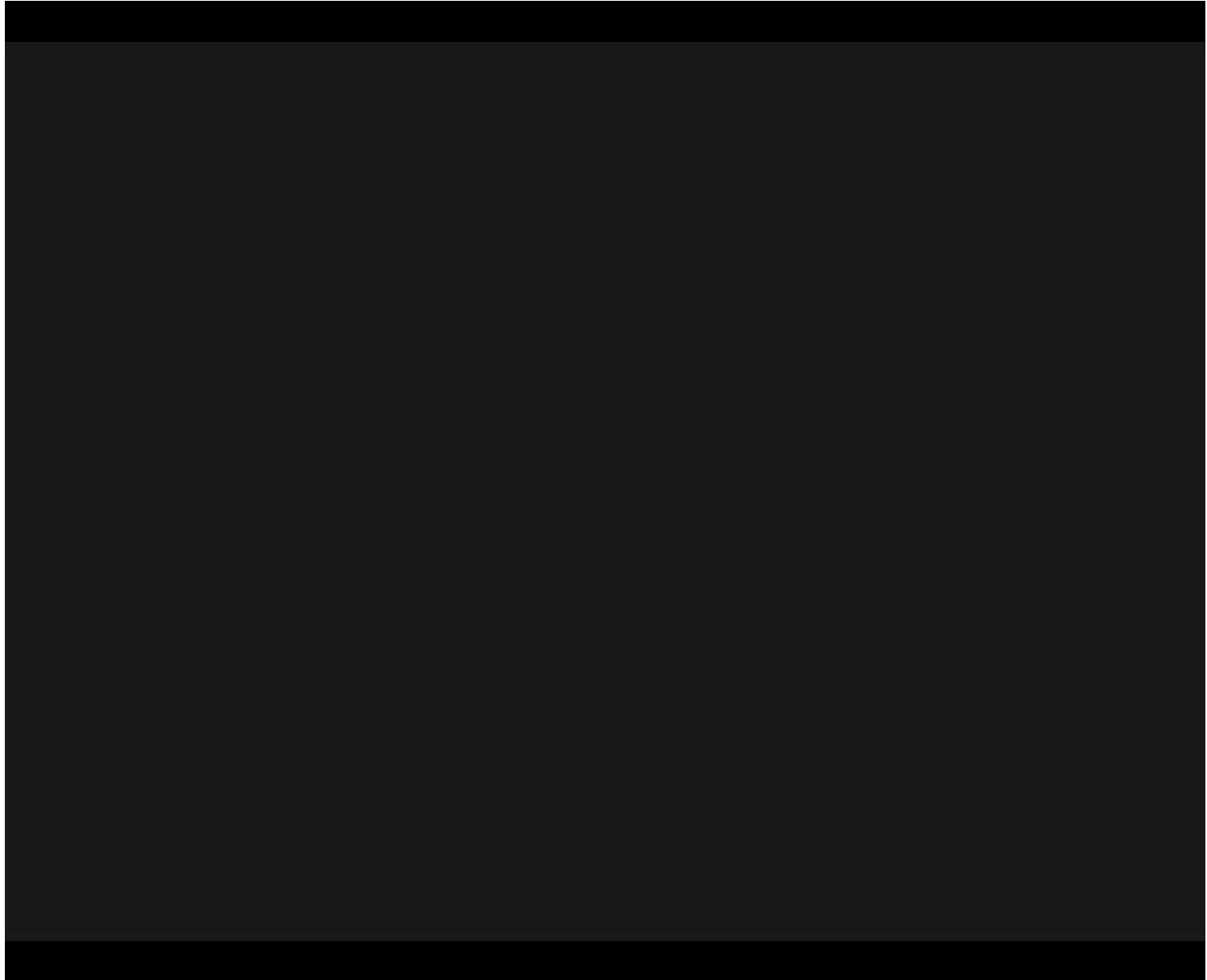


EXTRUSÃO – PRODUTOS E PERFIS

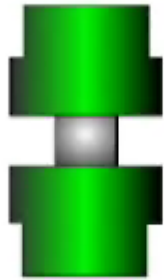




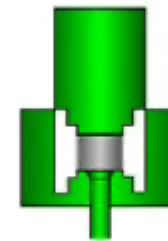
Processo Extrusão Scuba (Mergulho)



FORJAMENTO (Quente ou Frio)



MATRIZ ABERTA



MATRIZ FECHADA S/
REBARBAS

FORJAMENTO (Quente ou Frio)

Conformação
Forjamento em Matriz Aberta

Forjamento em Matriz Aberta

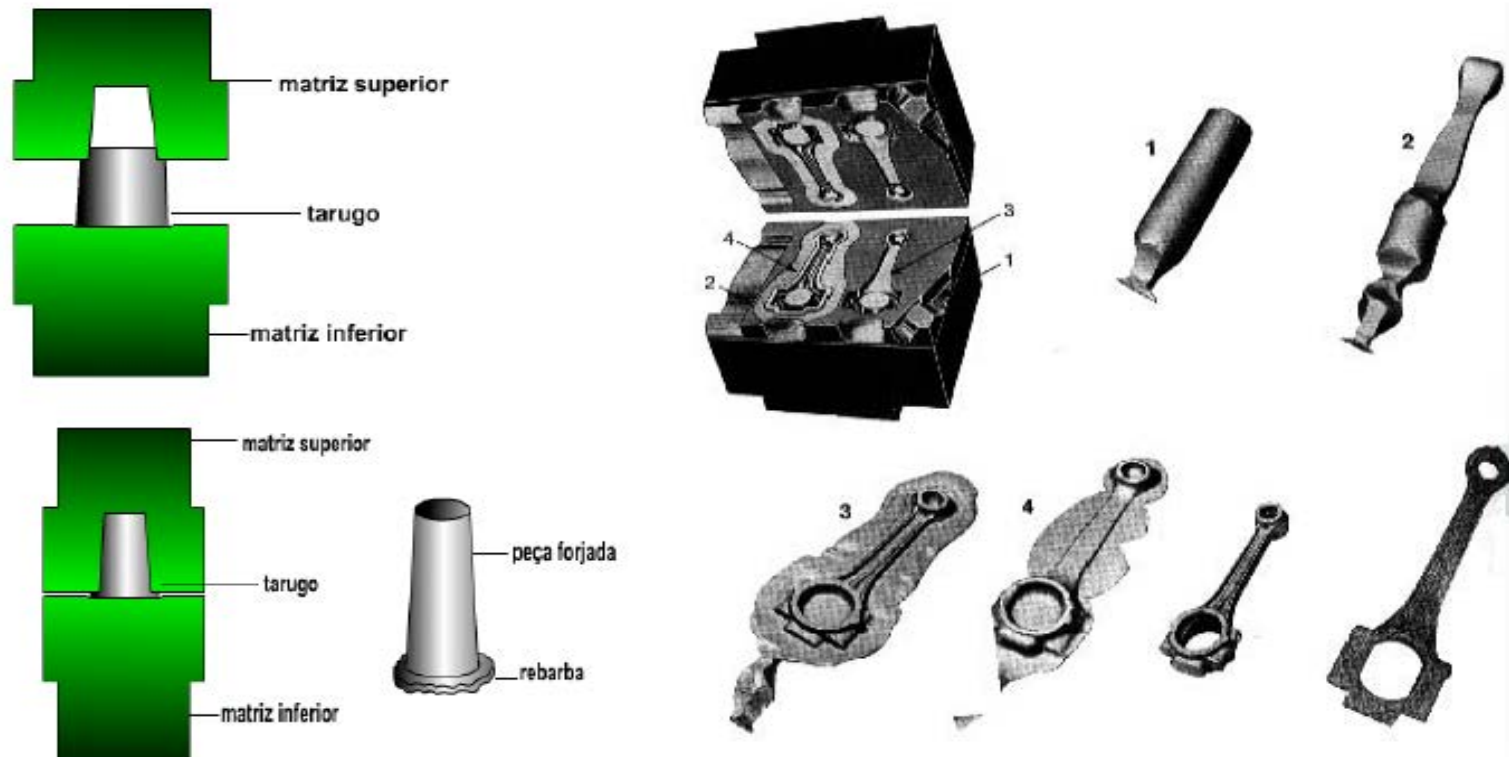


Forjamento em Matriz Fechada

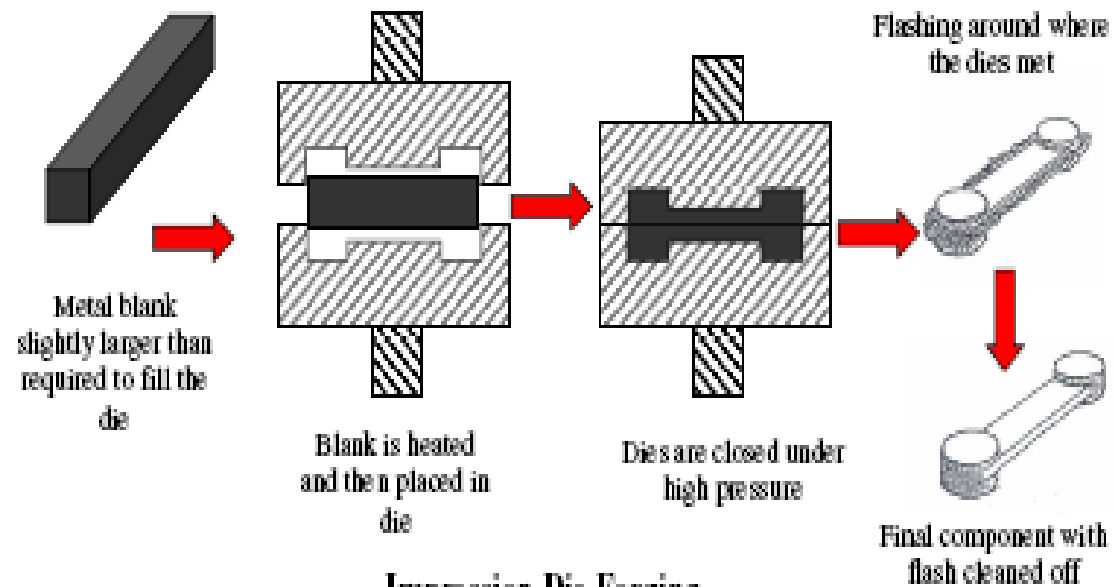
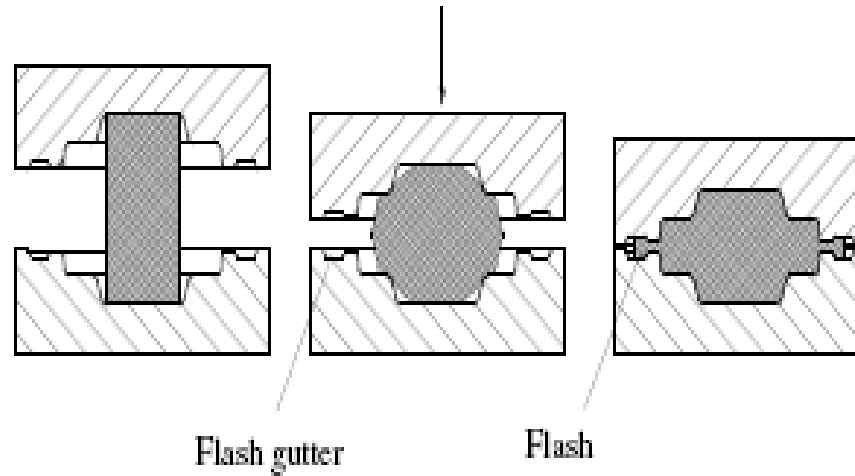
Conformação
Forjamento em Matriz Fechada



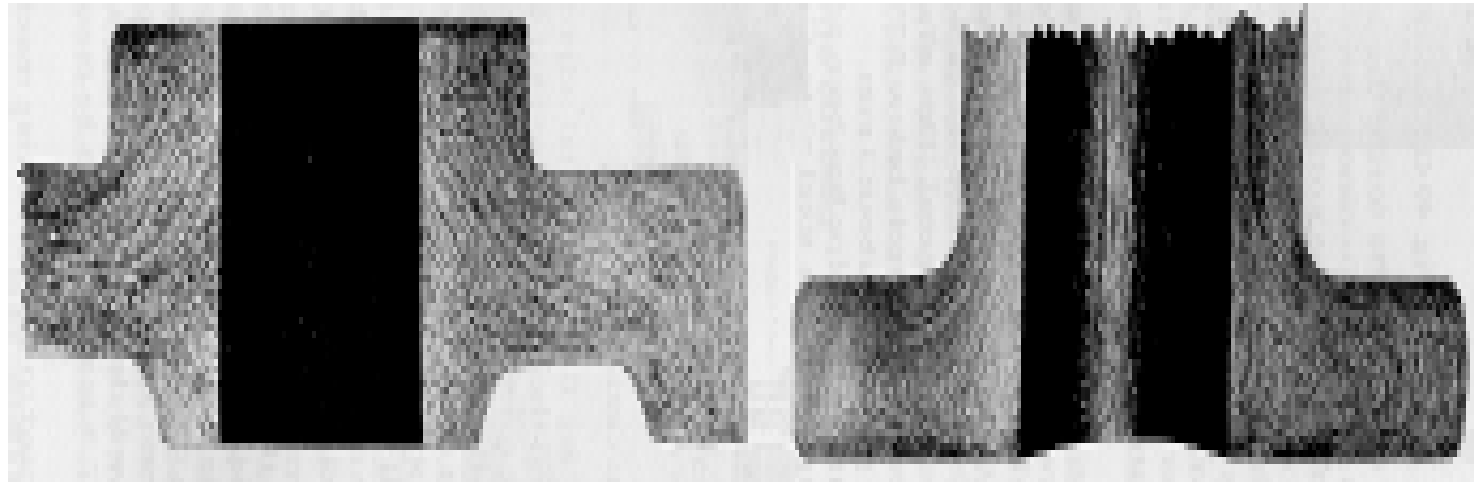
FORJAMENTO



MATRIZ FECHADA C/ REBARBA



Impression Die Forging

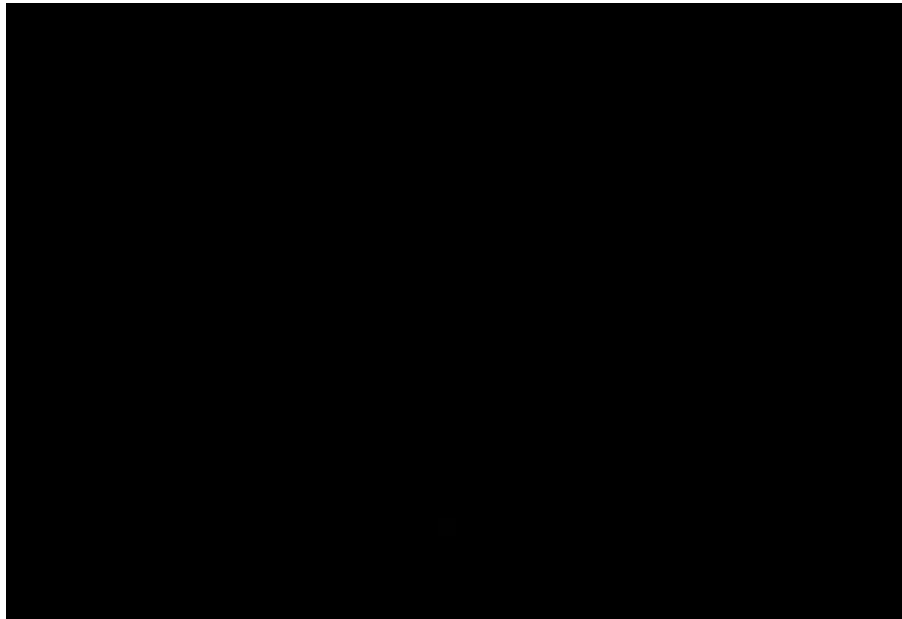


Aligned fibre structure of forgings

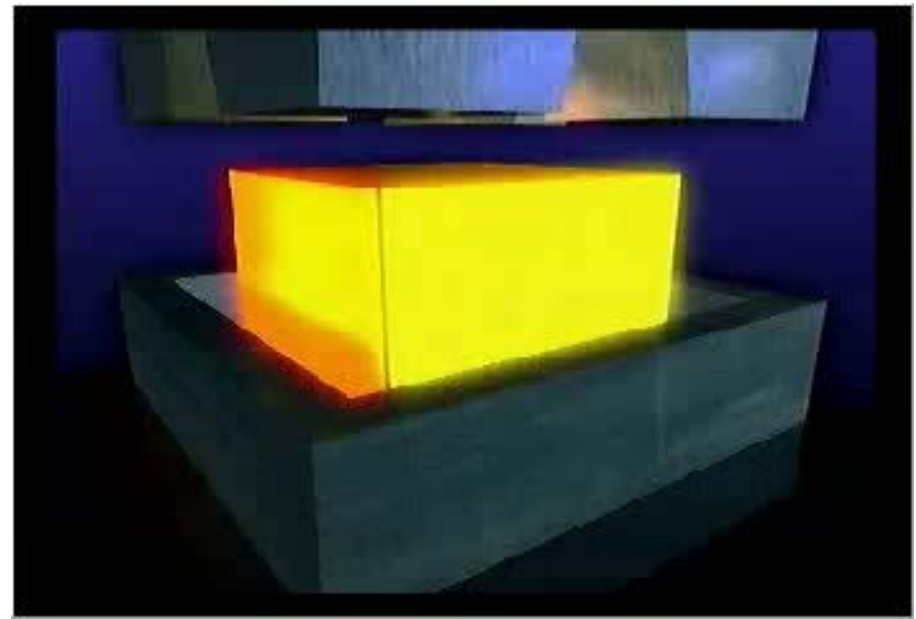
FORJAMENTO - PRODUTOS



Exemplos Forjamento a Quente

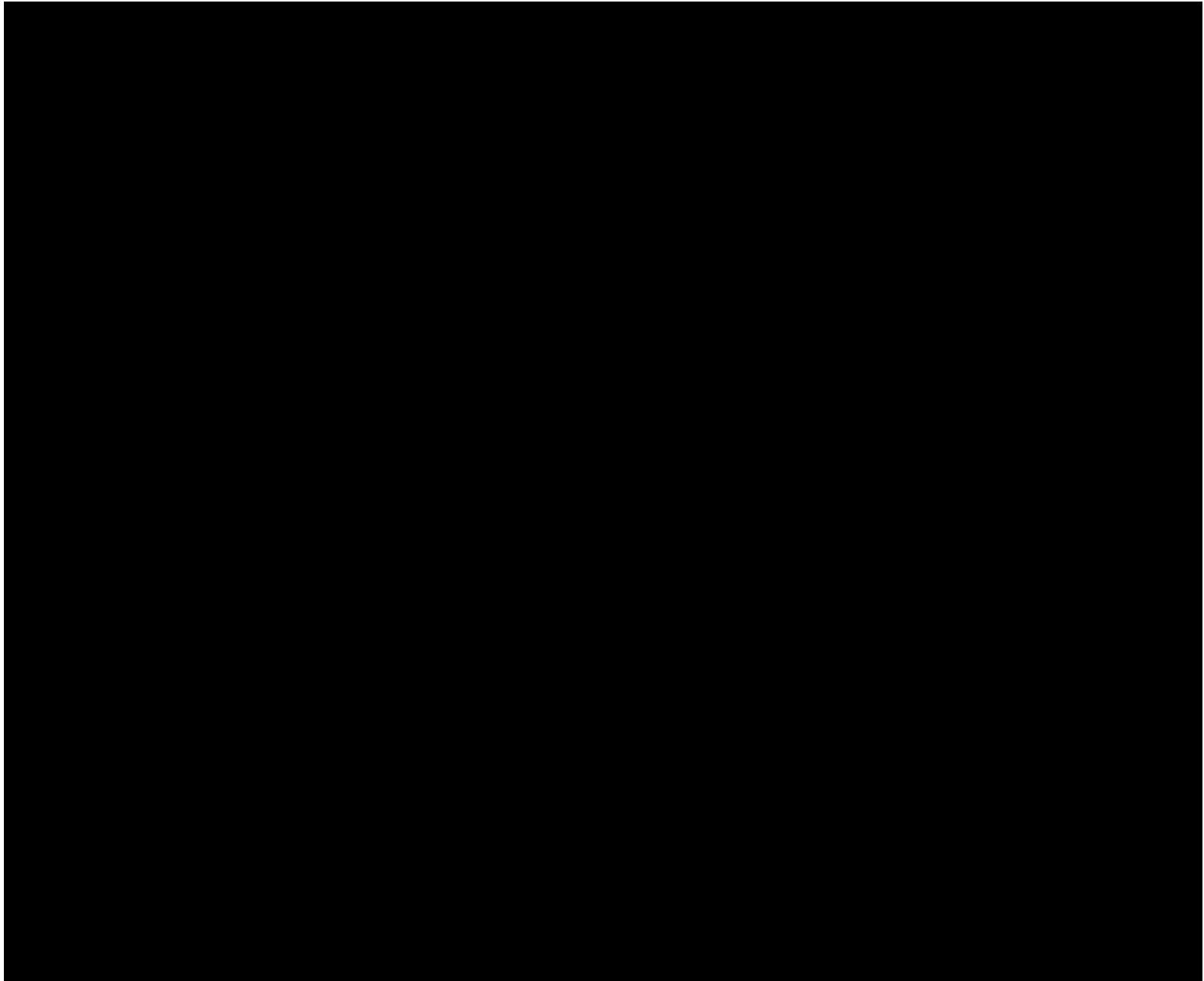


Matriz Aberta



Matriz Fechada
(simulação)

Open Die Forging



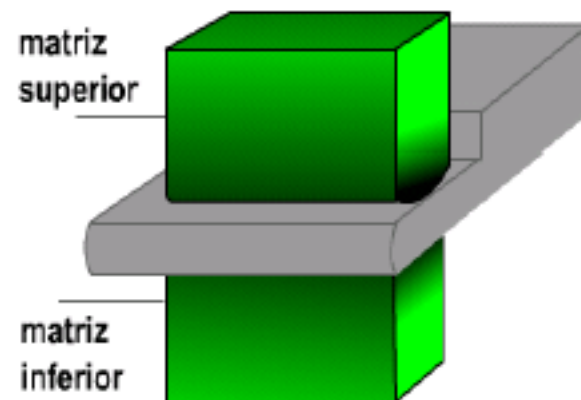
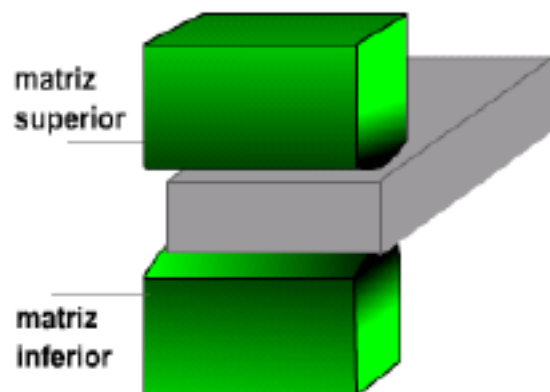


Forjamento a Quente
(Matriz Aberta)

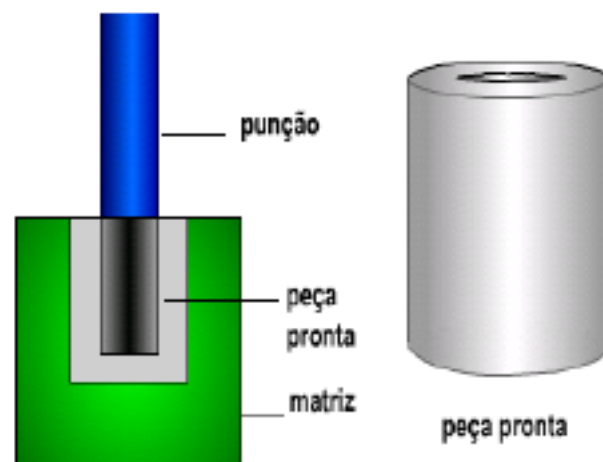
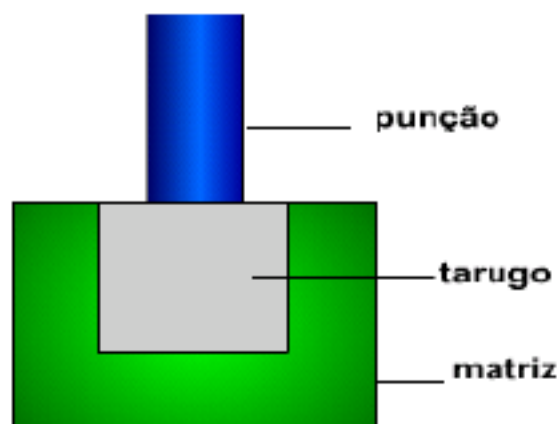
Forjamento a Quente
(Matriz Fechada)



■ Alargamento



■ Furação



Alargamento (Tipo Forjamento)

Conformação
Alargamento

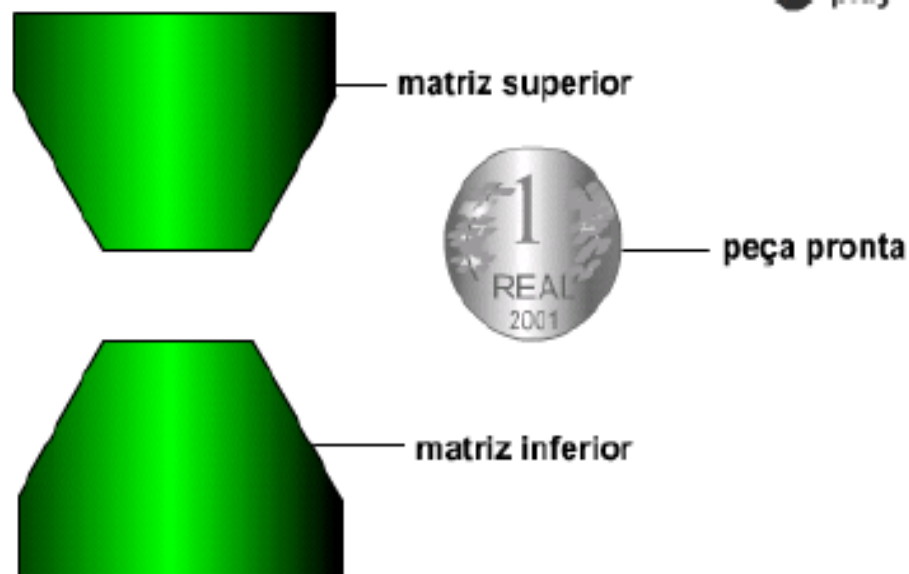
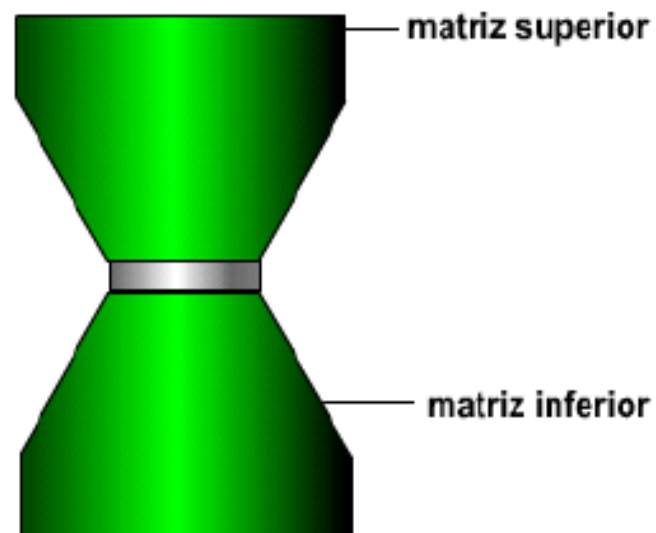
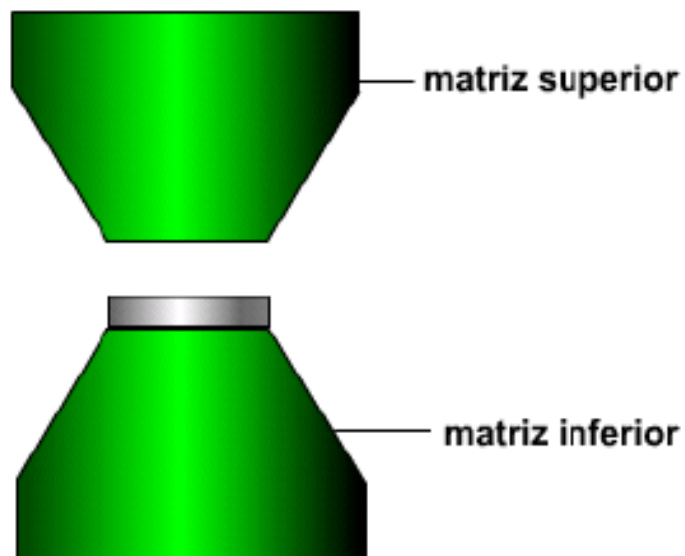


Furação (Tipo Forjamento)

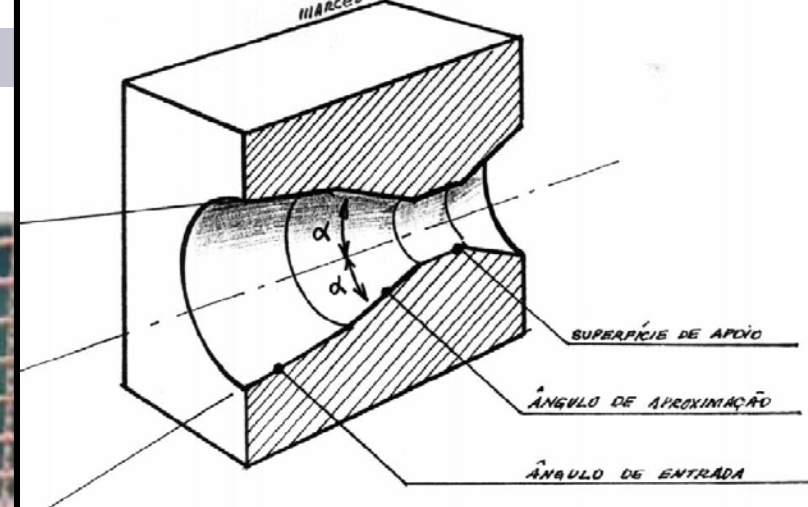
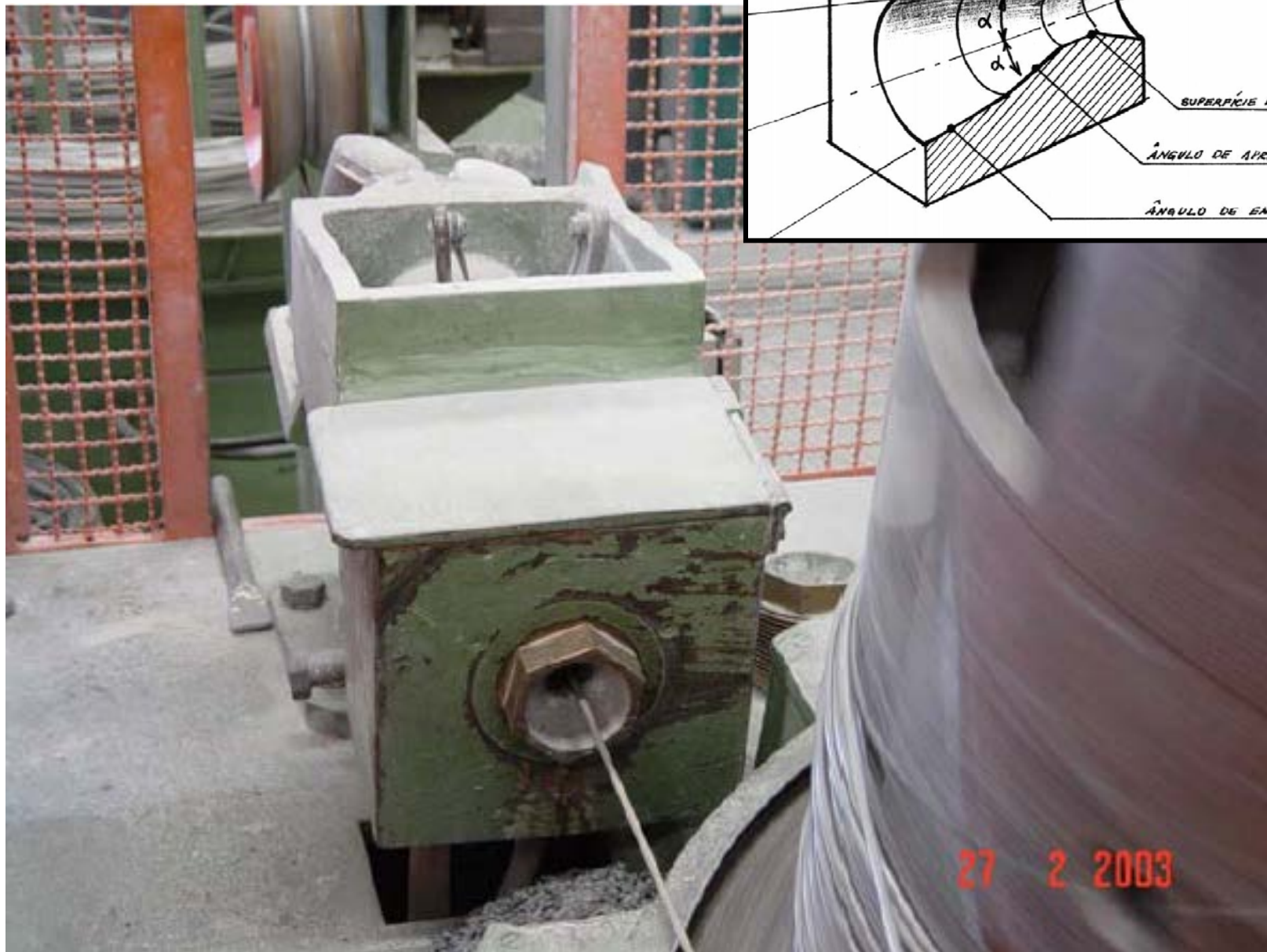
Conformação
Furação



Cunhagem



TREFILAÇÃO

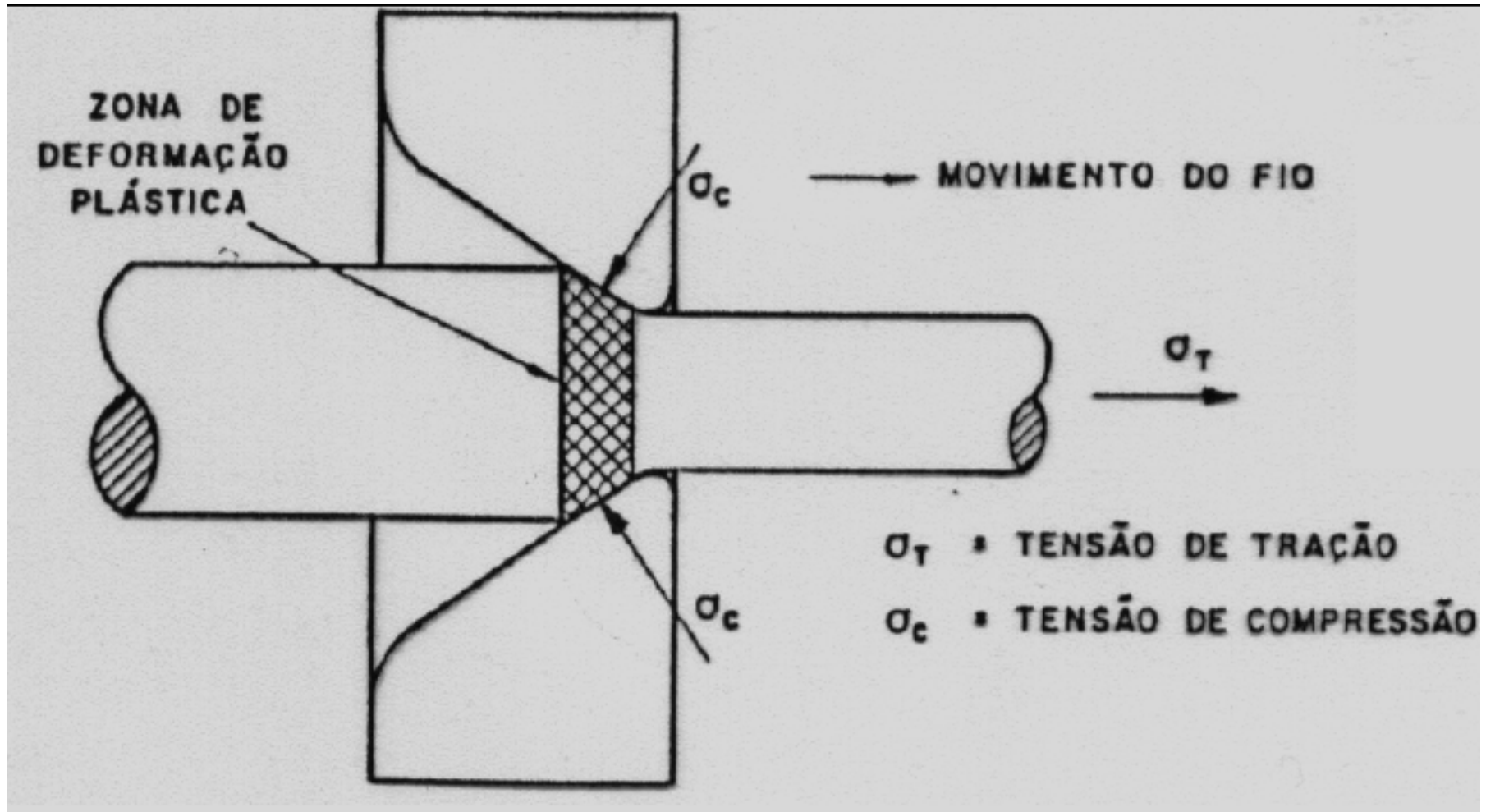


Geometria de Fieira

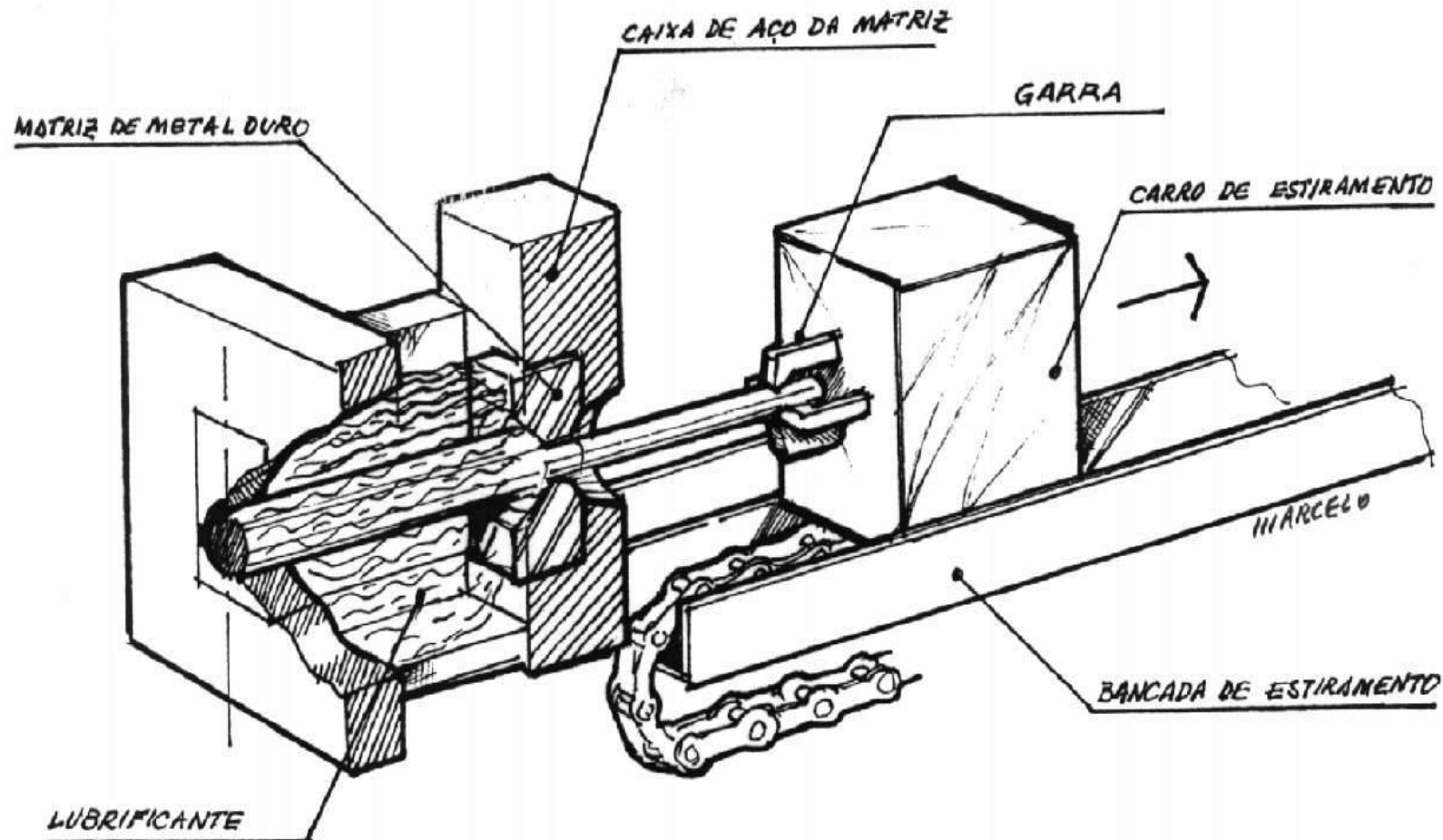
Conformação
Geometria de Fieira para
Trefilação de Arame



MECÂNICA DA TREFILAÇÃO



Bancada de Trefilação



Bancada de Trefilação

Conformação
Bancada de Trefilação



Máquina Dupla de Trefilar

Conformação
Máquina Dupla de Trefilar



TREFILAÇÃO - PRODUTOS

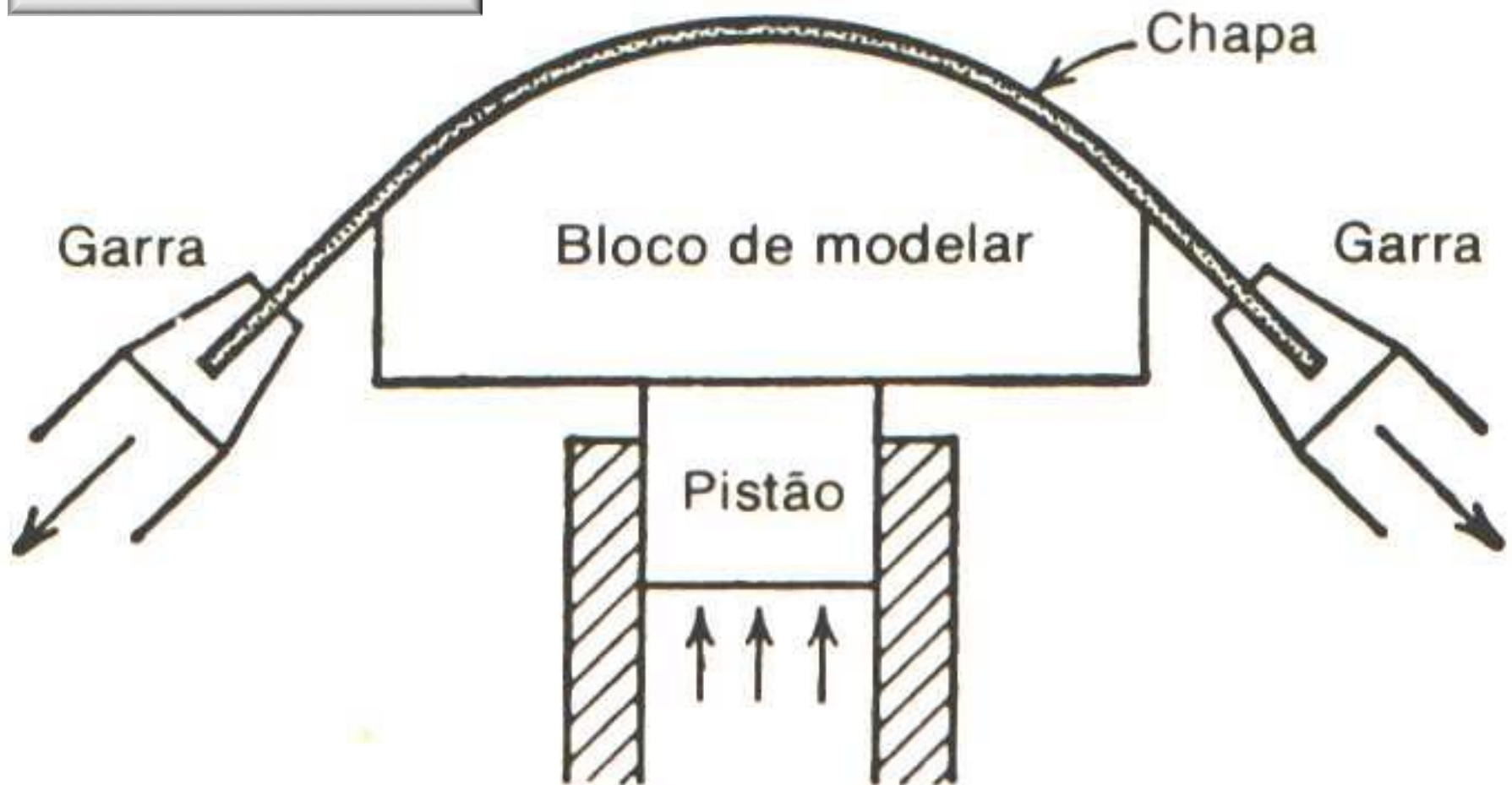


vergalhões trefilados para forja



ESTIRAMENTO POR TRAÇÃO (STRETCHING)

Usado na fabricação de
revestimentos



ESTIRAMENTO

O ESTIRAMENTO É UTILIZADO NA FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTOS

Revestimentos **Estirados** - São revestimentos com mais de uma curvatura.

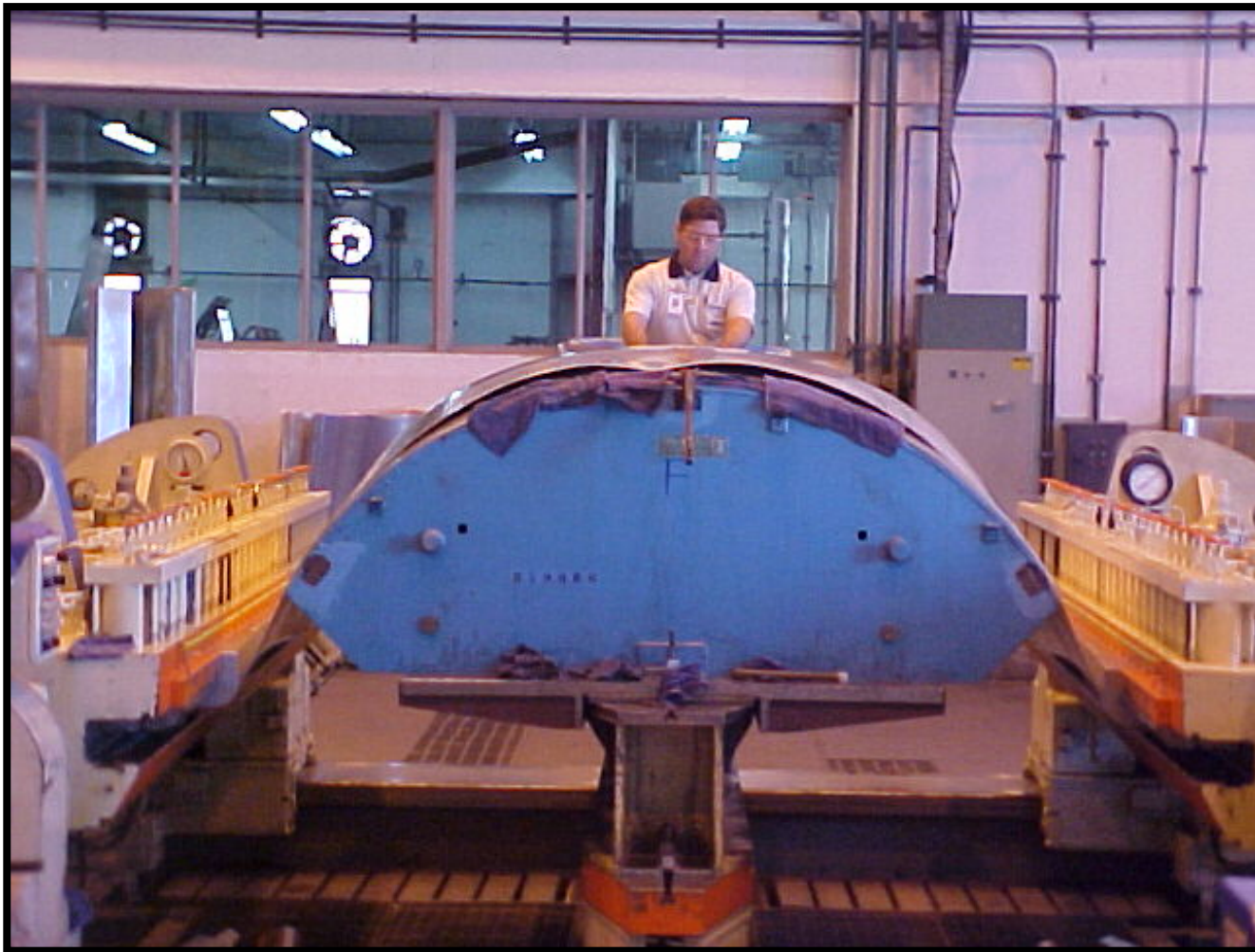
Revestimentos **Calandrados** - São revestimentos com curvatura cilíndrica.

ESTIRAMENTO POR TRAÇÃO

Conformação
Operação de Estiramento por Tração

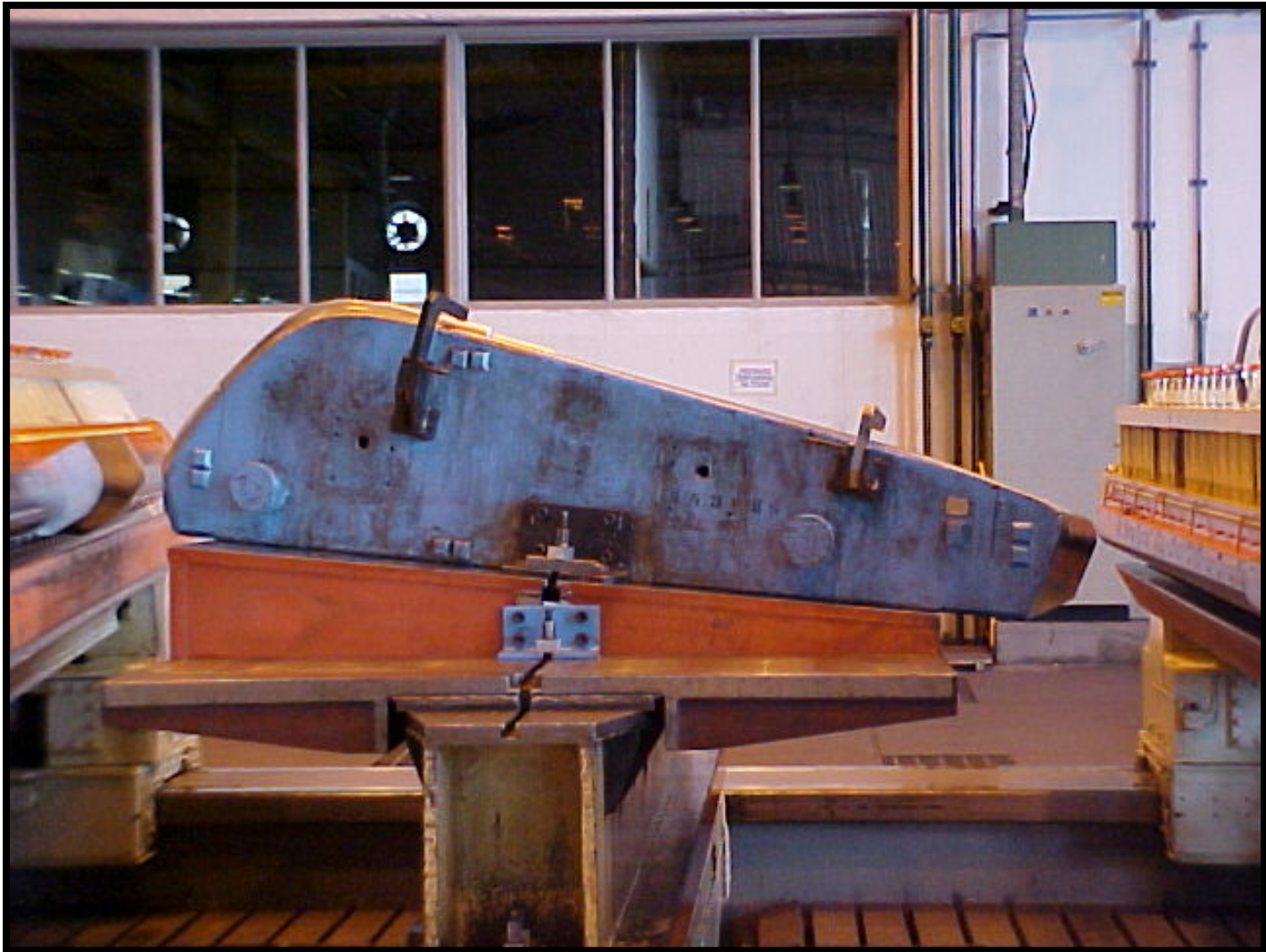


Estiramento - Produtos



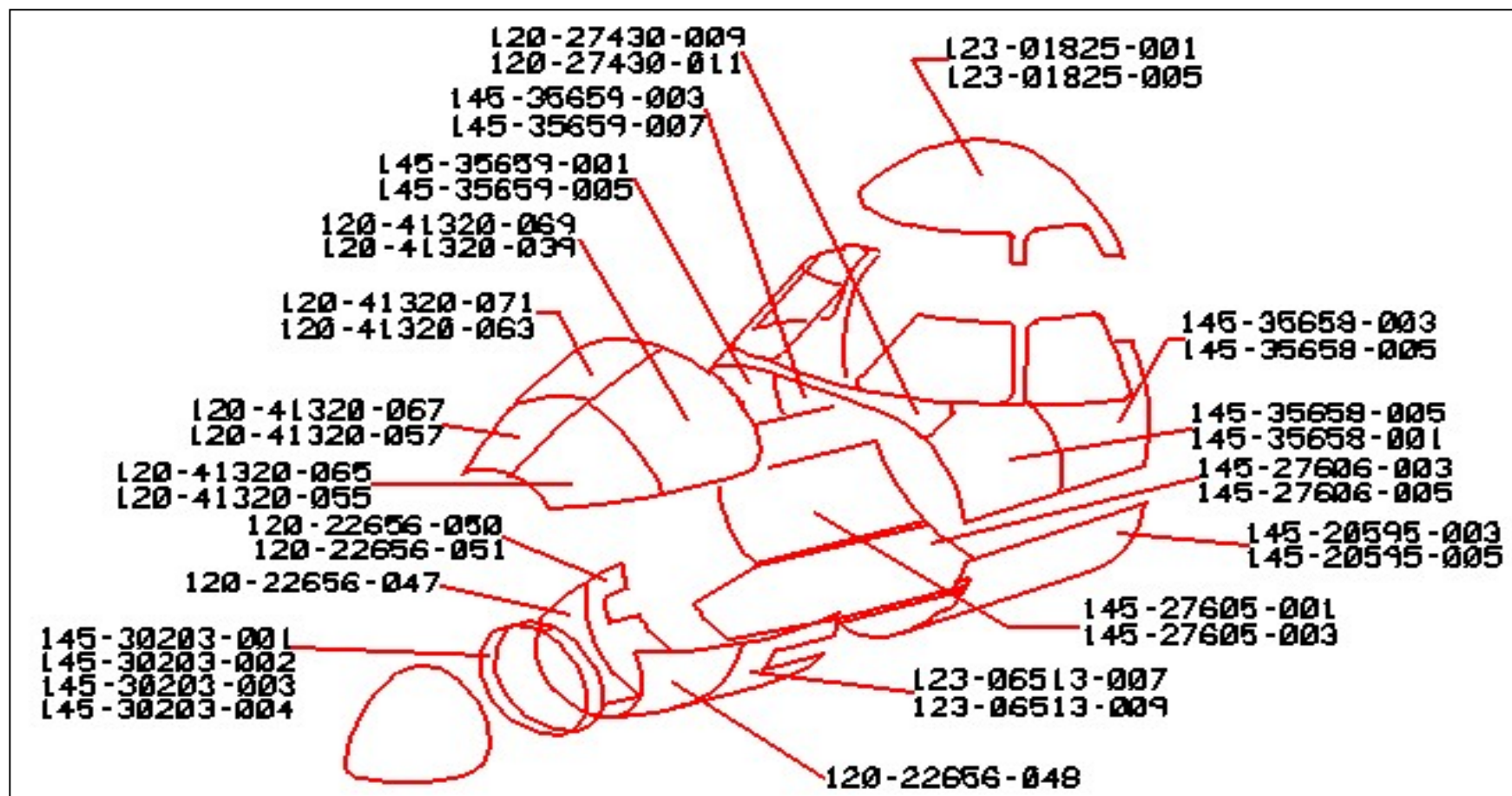
Revestimentos do teto do EMB170

Estiramento - Produtos

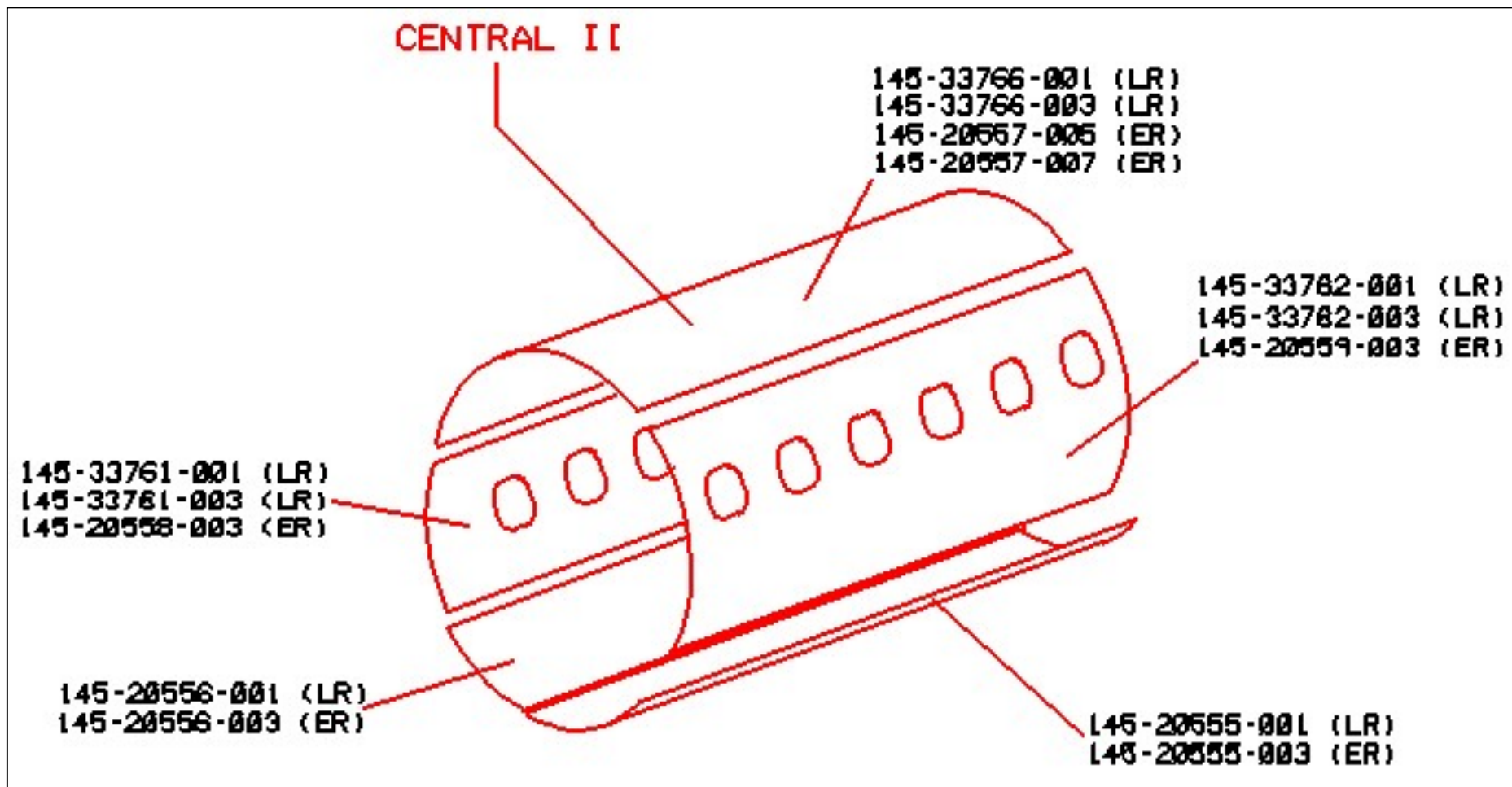


Winglet

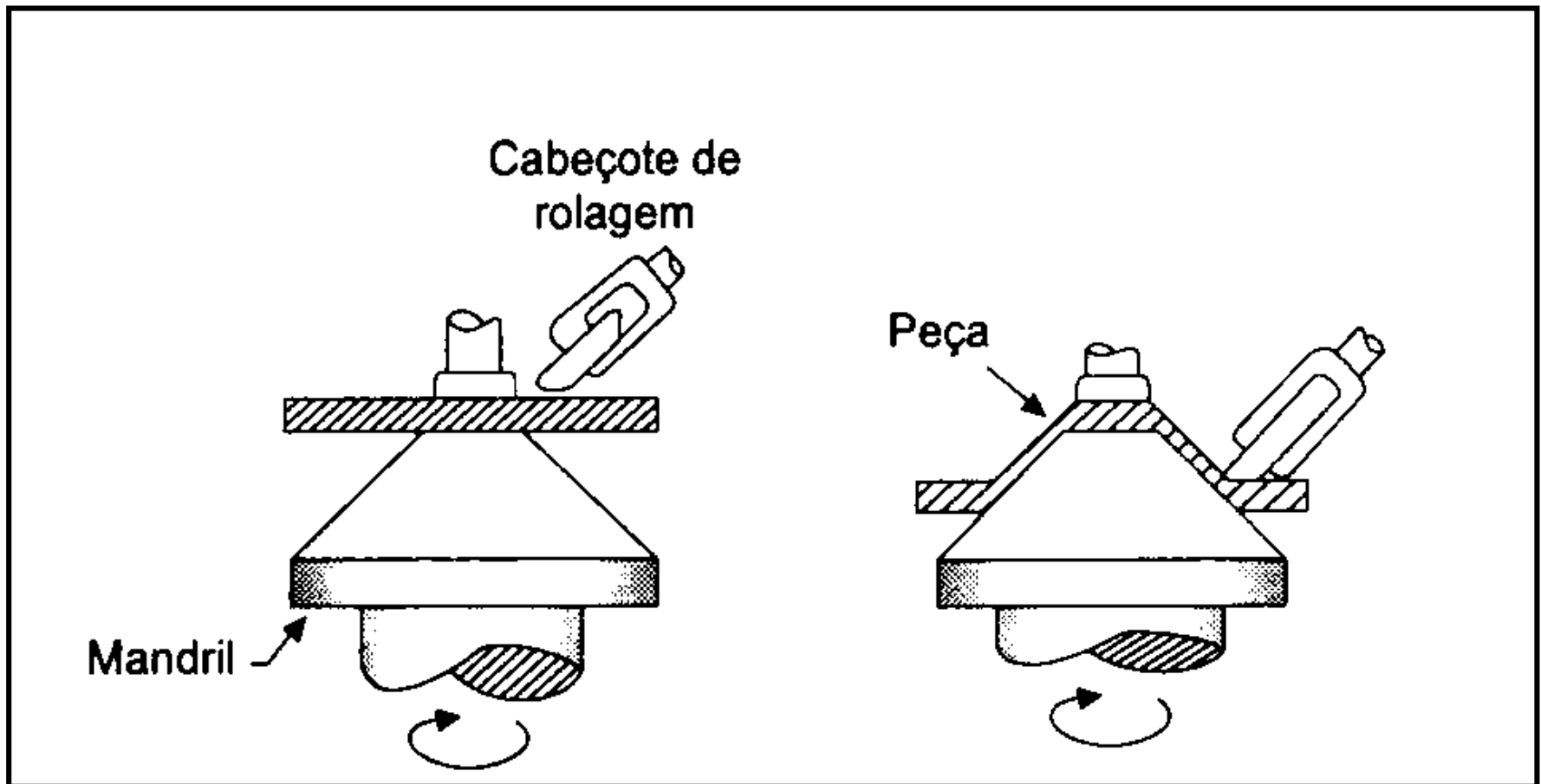
Revestimentos Estirados - Dianteira do ERJ 145



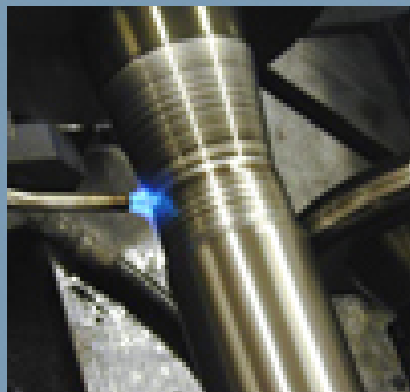
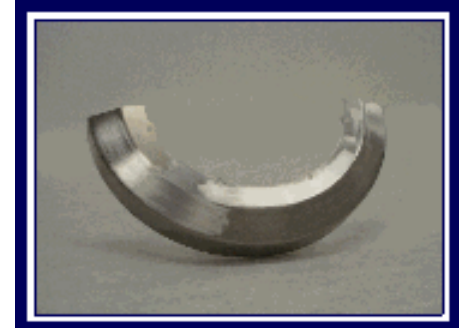
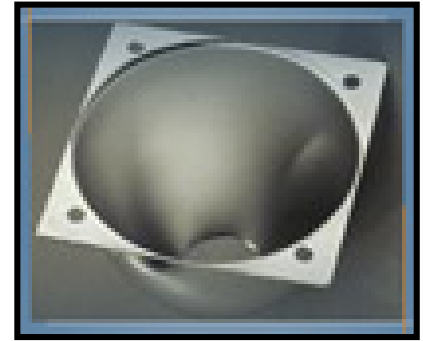
Revestimentos Calandrados - Central II



Repuxamento (SPINNING)



REPUXAMENTO- EXEMPLOS



Repuxamento (SPINNING)

Conformação
Repuxamento Manual



Repuxamento (SPINNING)





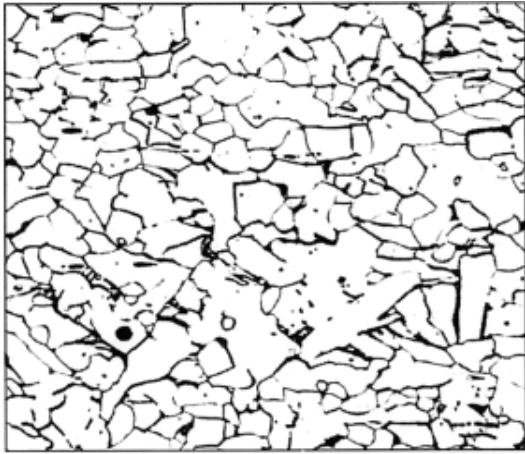
DEFORMAÇÃO À FRIO

- Aumenta a dureza e a resistência dos materiais, mas a ductilidade diminui (menor tenacidade);
- Permite a obtenção de dimensões dentro de tolerâncias estreitas;
- Produz melhor acabamento superficial.

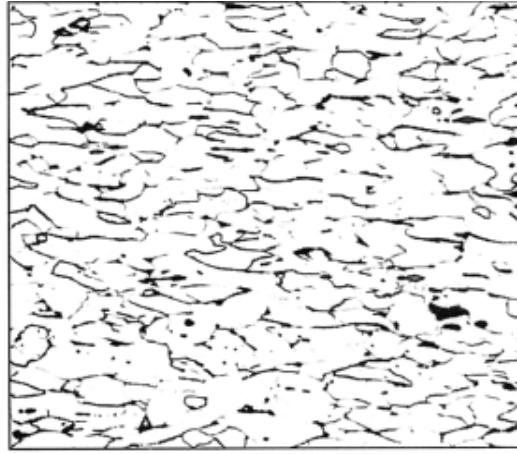
ENCRUAMENTO OU ENDURECIMENTO PELA DEFORMAÇÃO À FRIO

- É o fenômeno no qual um material endurece devido à deformação plástica (realizado pelo trabalho à frio);
- Esse endurecimento dá-se devido ao aumento de discordâncias e imperfeições promovidas pela deformação, que impedem o escorregamento dos planos atômicos;
- A medida que se aumenta o encruamento maior é a força necessária para produzir uma maior deformação;
- O encruamento pode ser removido por tratamento térmico (recristalização) onde diminui a densidade discordâncias.

ENCRUAMENTO



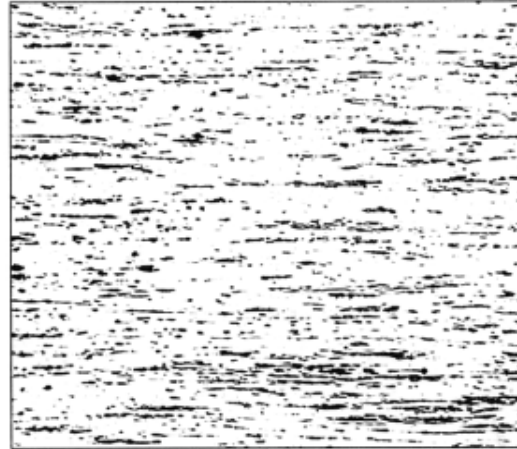
(a)



(b)



(c)



(d)

**Estrutura do grão
deformado por
trabalho a frio de um
aço baixo carbono.**

trabalho a frio:

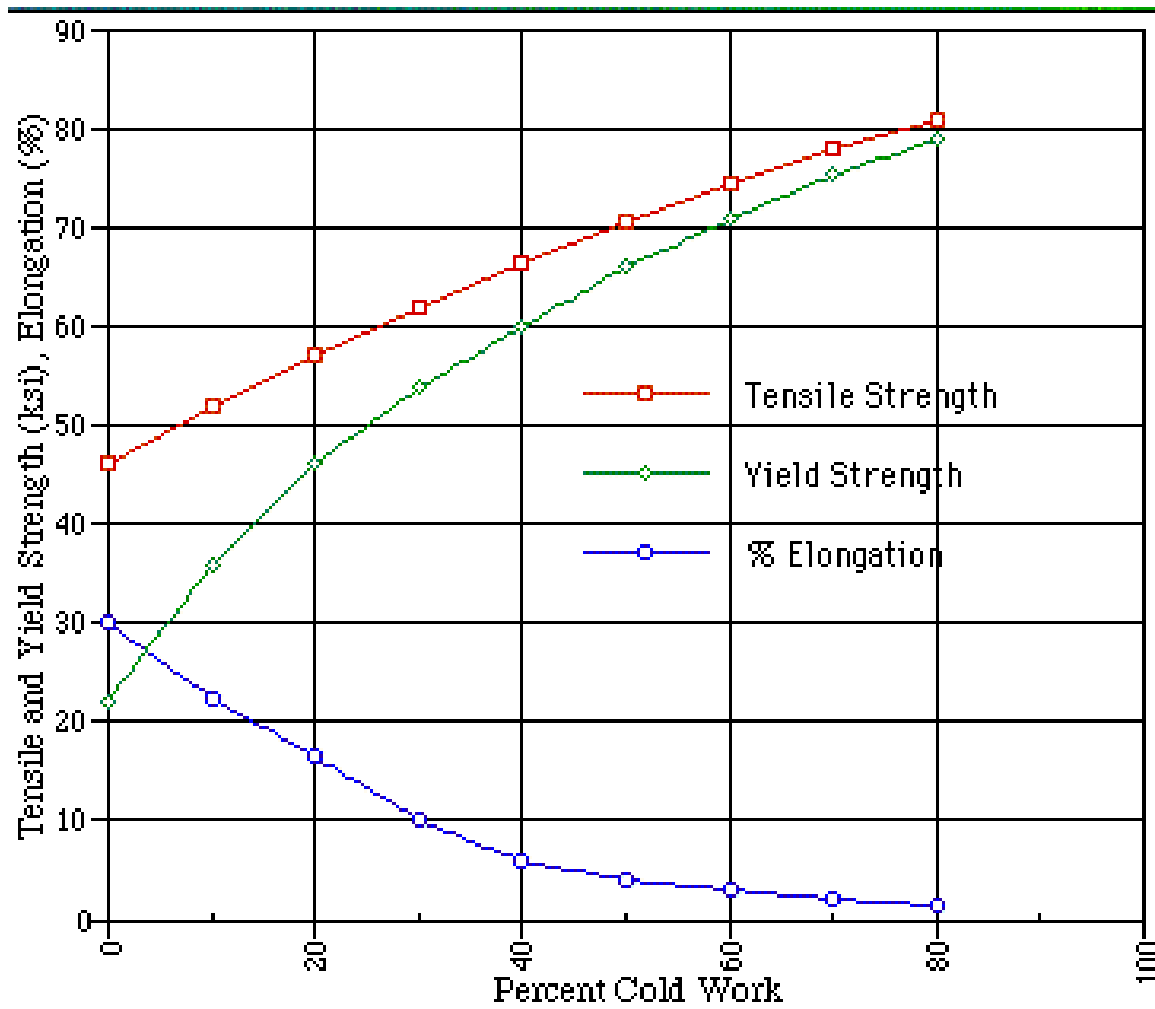
(a) 10%

(b) 30%

(c) 60% and

(d) 90% (250).

VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM FUNÇÃO DO ENCRUAMENTO

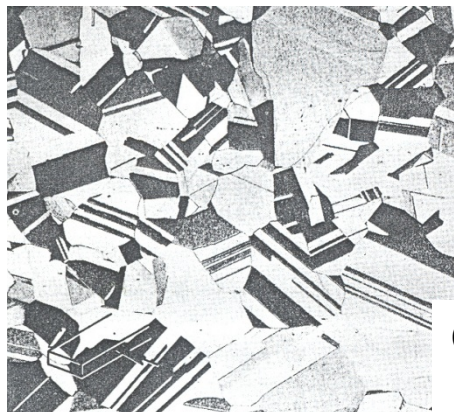


□ O encruamento aumenta a resistência mecânica a tração;

□ O encruamento aumenta o limite de escoamento;

□ O encruamento diminui a ductilidade

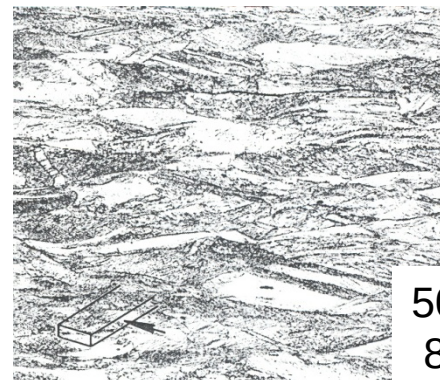
Efeito do encruamento (%redução a frio) sobre a Resistência à Tração



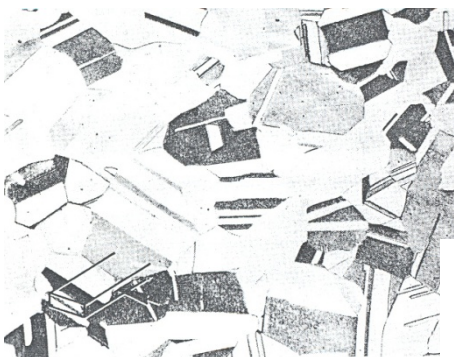
Original
43 kpsi



21% red.
62 kpsi



50% red.
86 kpsi



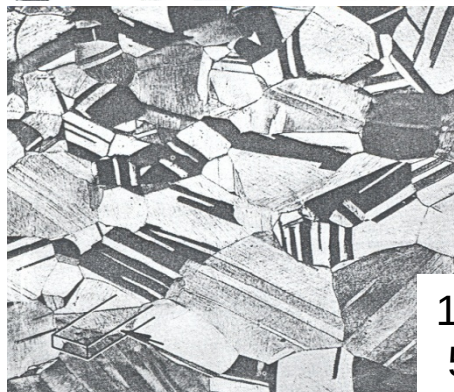
6% red.
49 kpsi



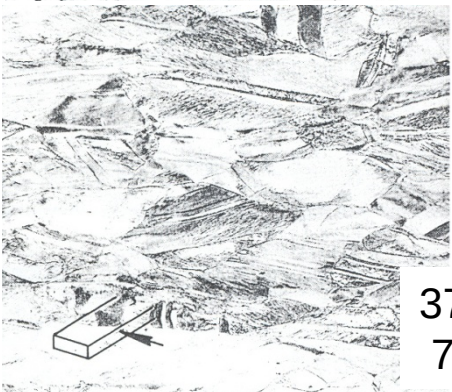
29% red.
69 kpsi



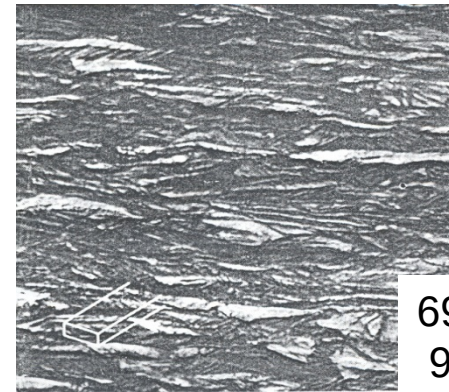
60% red.
94 kpsi



11% red.
54 kpsi

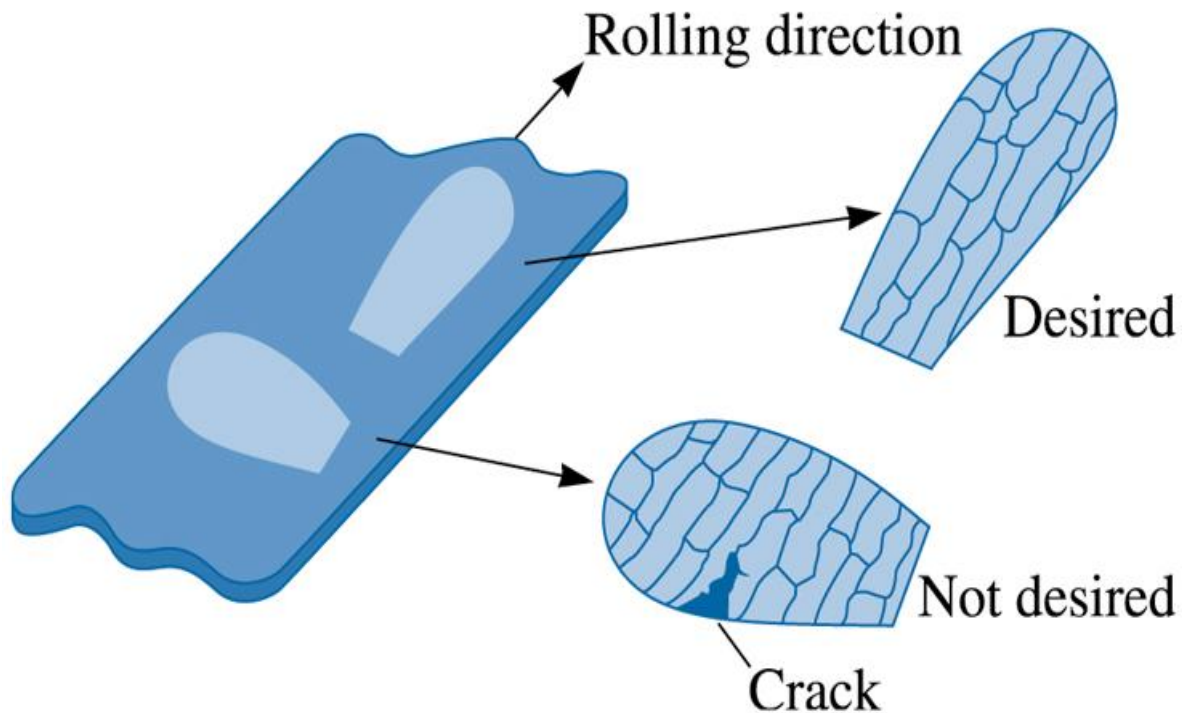


37% red.
76 kpsi



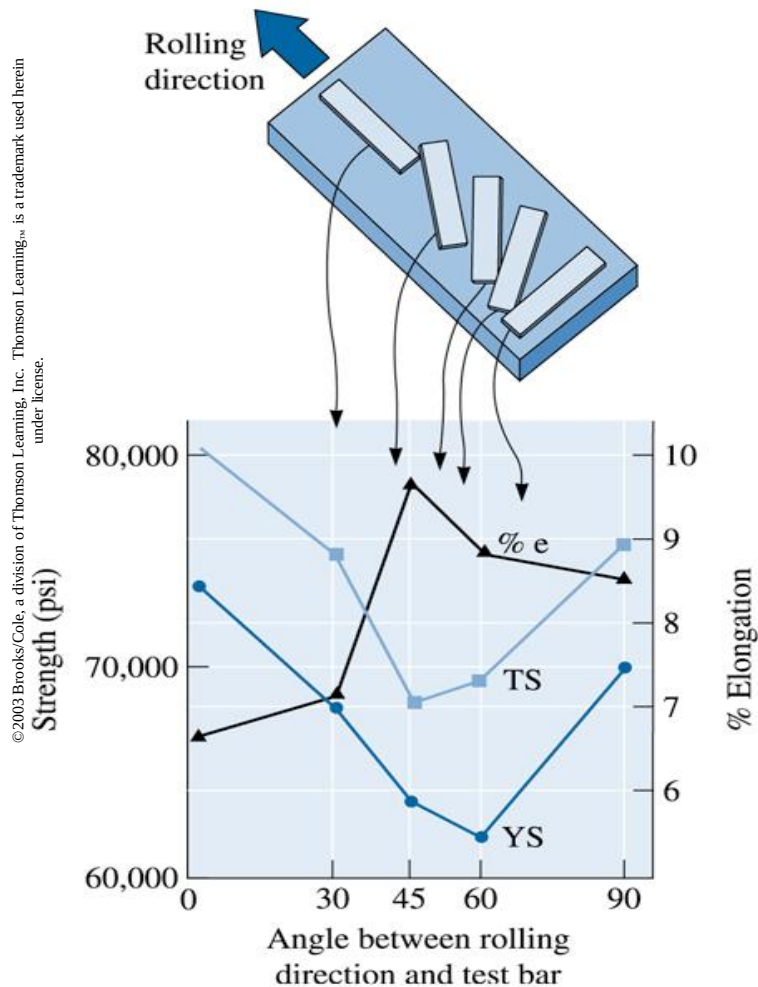
69% red.
99 kpsi

ANISOTROPIA



O alinhamento dos grãos e o alongamento das inclusões causam um direcionamento destas.

ANISOTROPIA



Comportamento anisotrópico de uma chapa de Al-Li usado em aplicações aeroespaciais.

Observe as variações em resistência em função das orientações dos grãos.