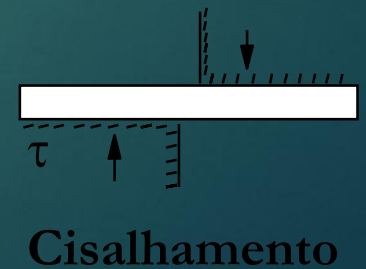
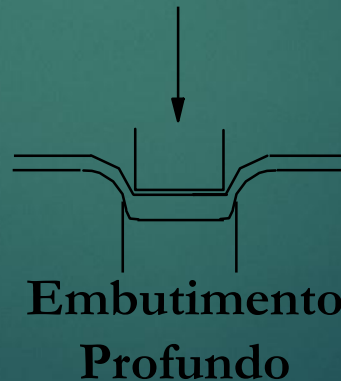
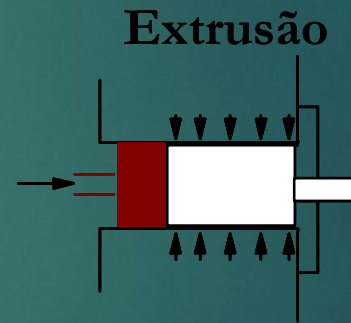
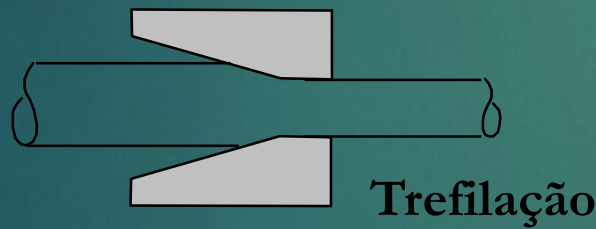
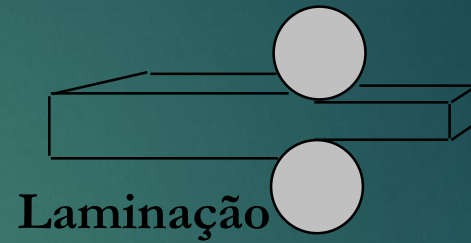
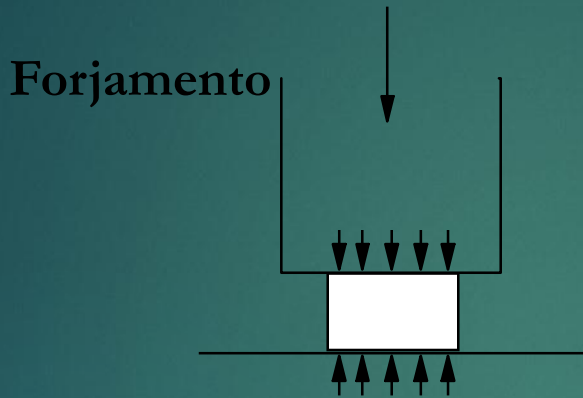


Deformação Plástica

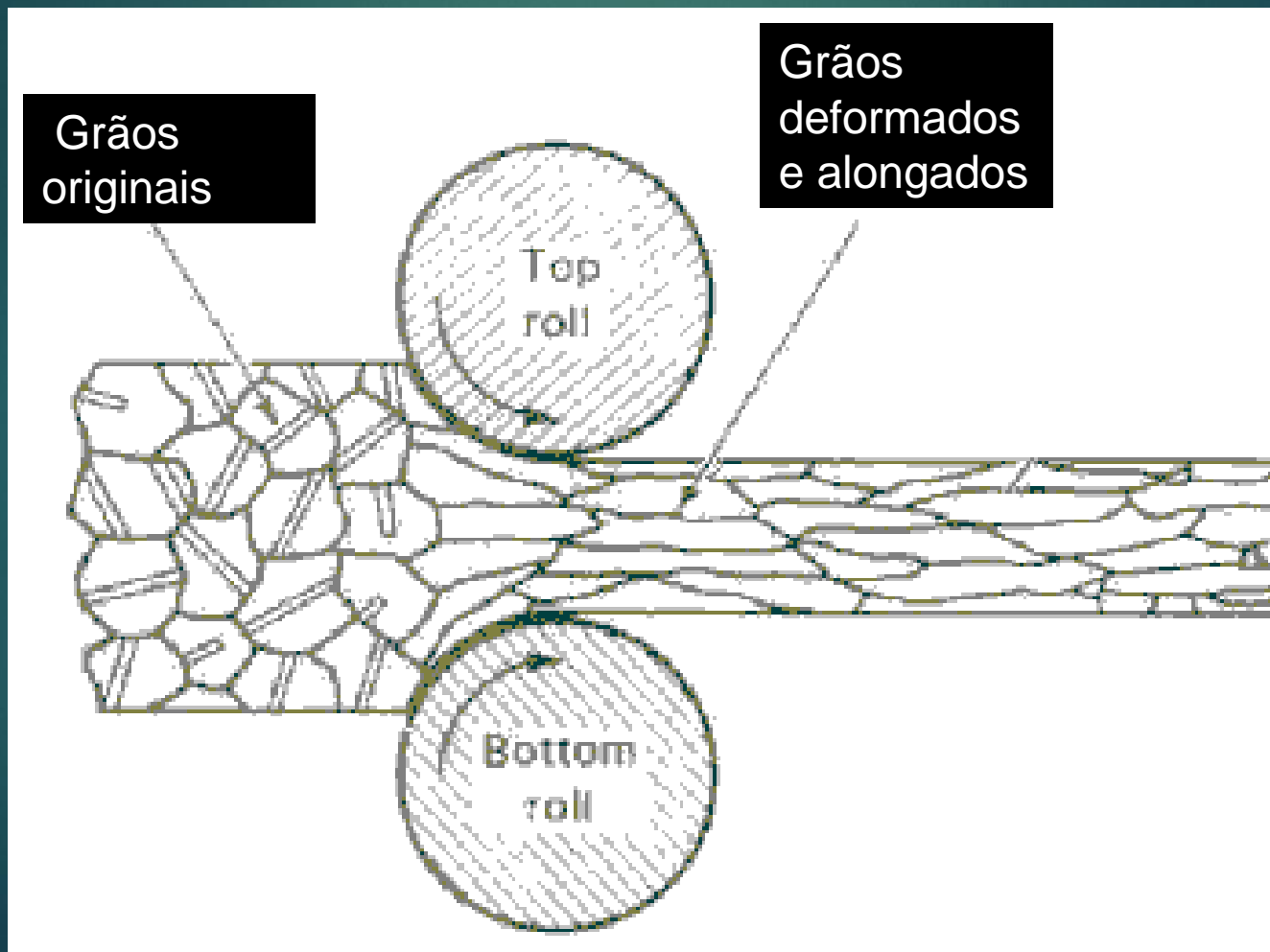
Metalografia Quantitativa

PROFA. DRA. LAURALICE CANALE

TIPOS DE CONFORMAÇÃO



MECÂNICA DA LAMINAÇÃO

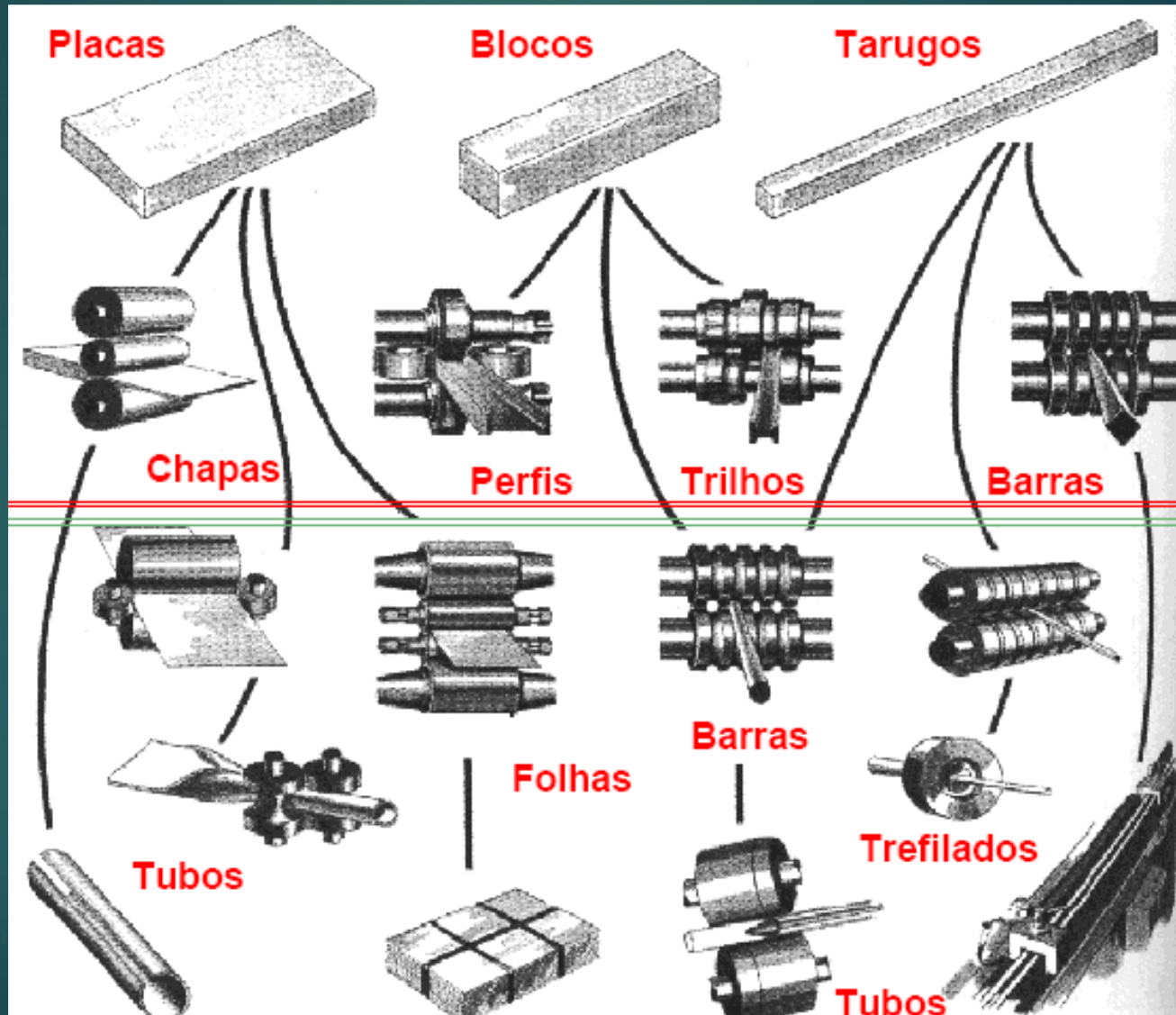


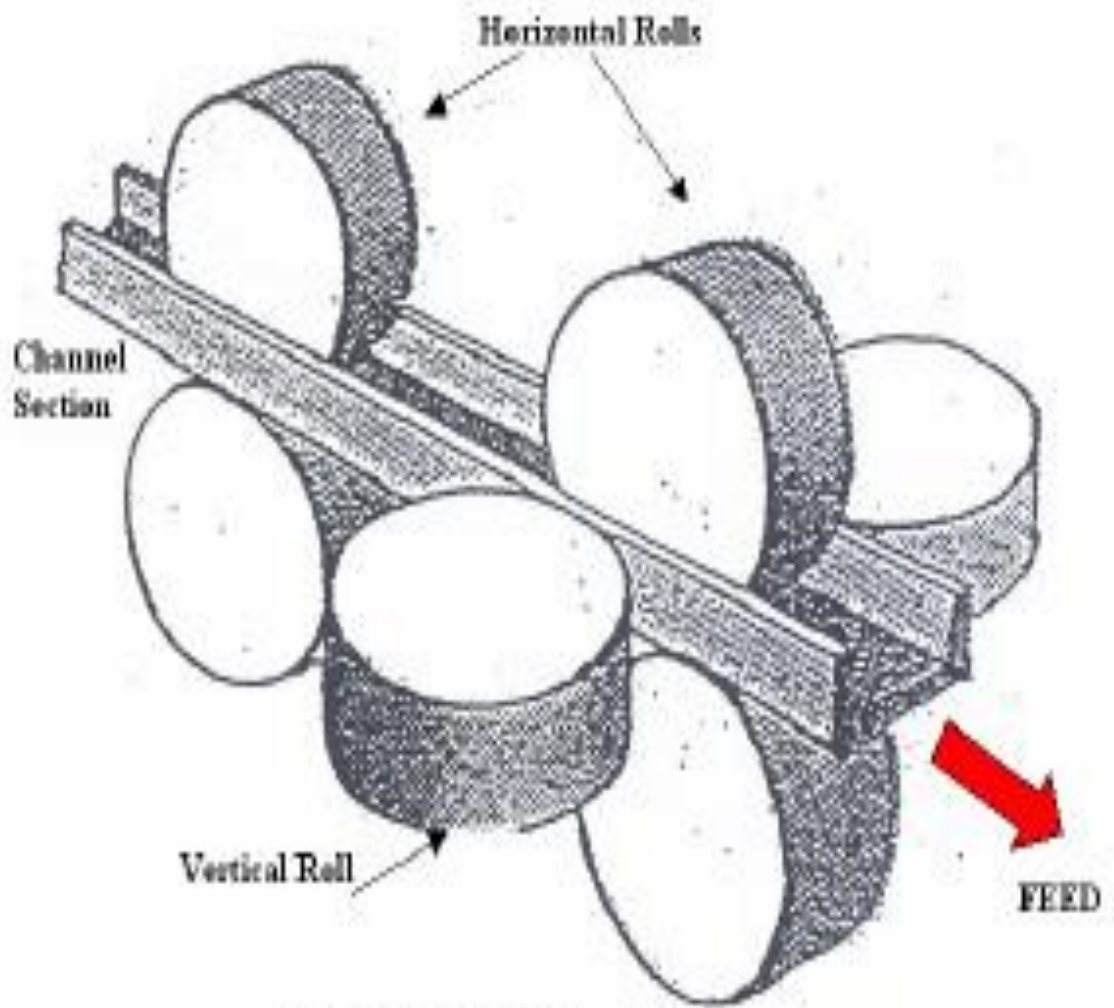
LAMINAÇÃO A FRIO



Laminador Tiras à Frio - USIMINAS

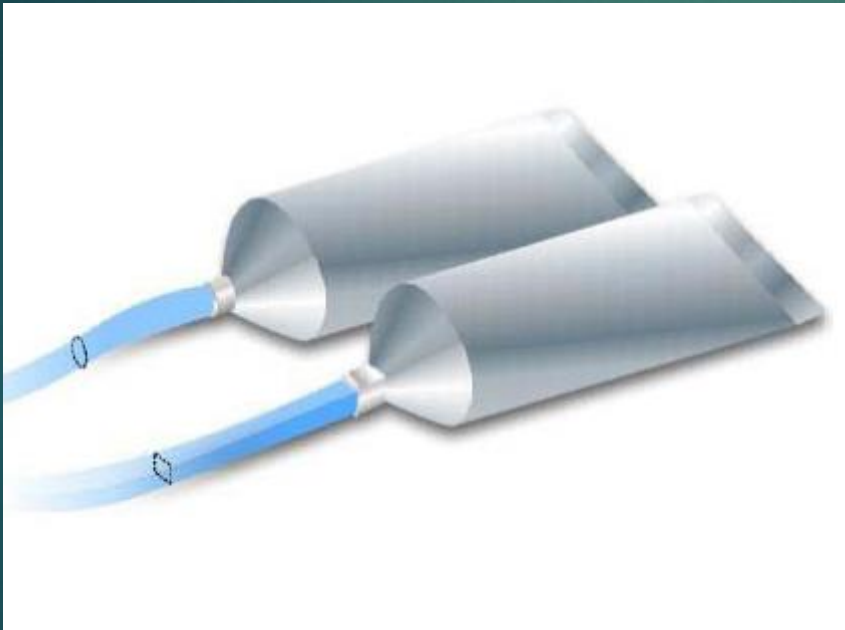
LAMINAÇÃO - PRODUTOS





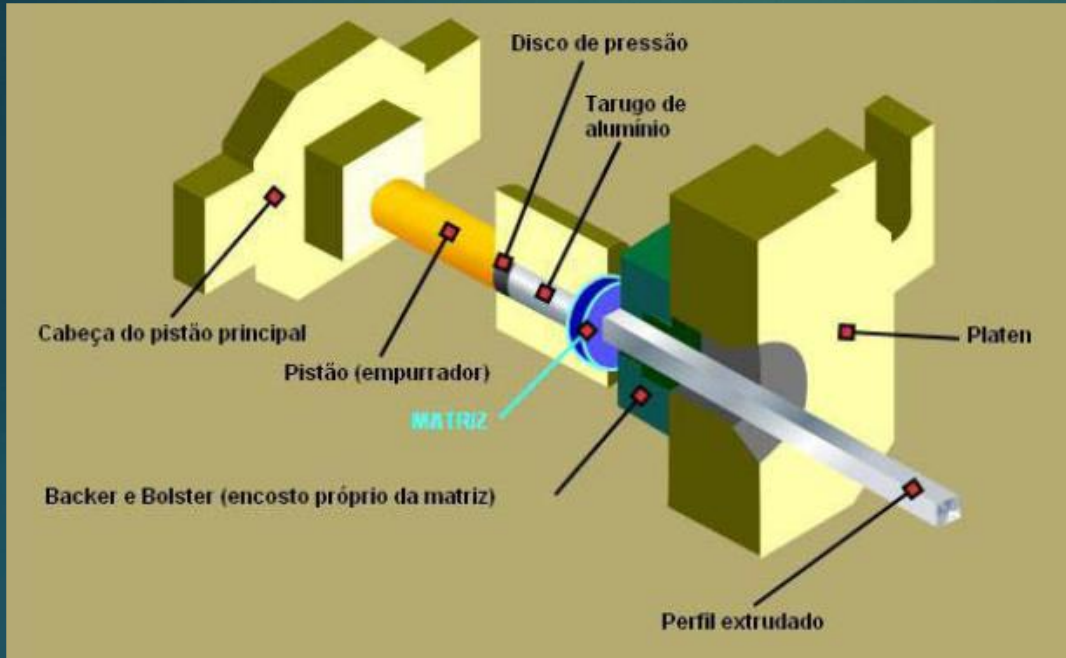
Rolling Carried Out On All Surfaces

EXTRUSÃO

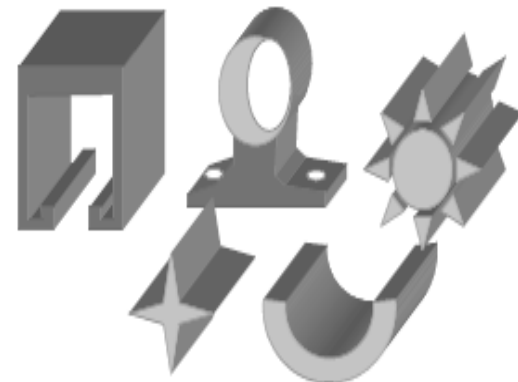


Como o tubo de creme dental, o metal não é líquido, mas se torna um sólido maleável no momento da extrusão, e assim ele pode assumir a forma desejada como se mudássemos o formato do bico do tubo de creme dental.

EXTRUSORA

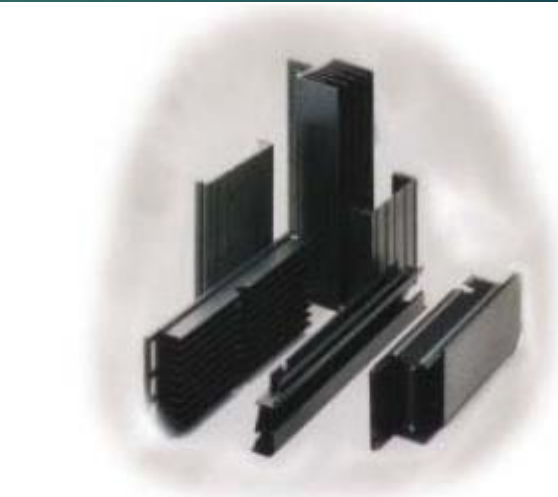


Common Extruded Shapes:

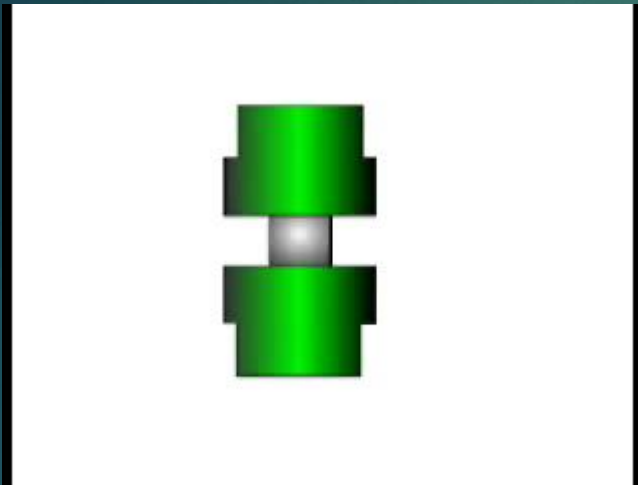


Process parameters:

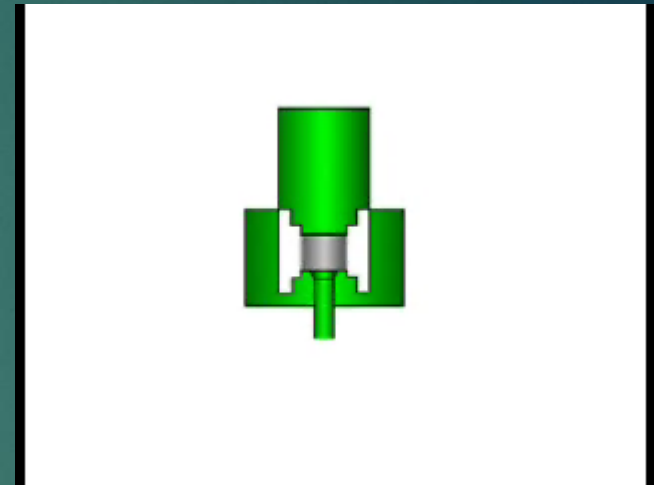
EXTRUSÃO – PRODUTOS E PERFIS



FORJAMENTO

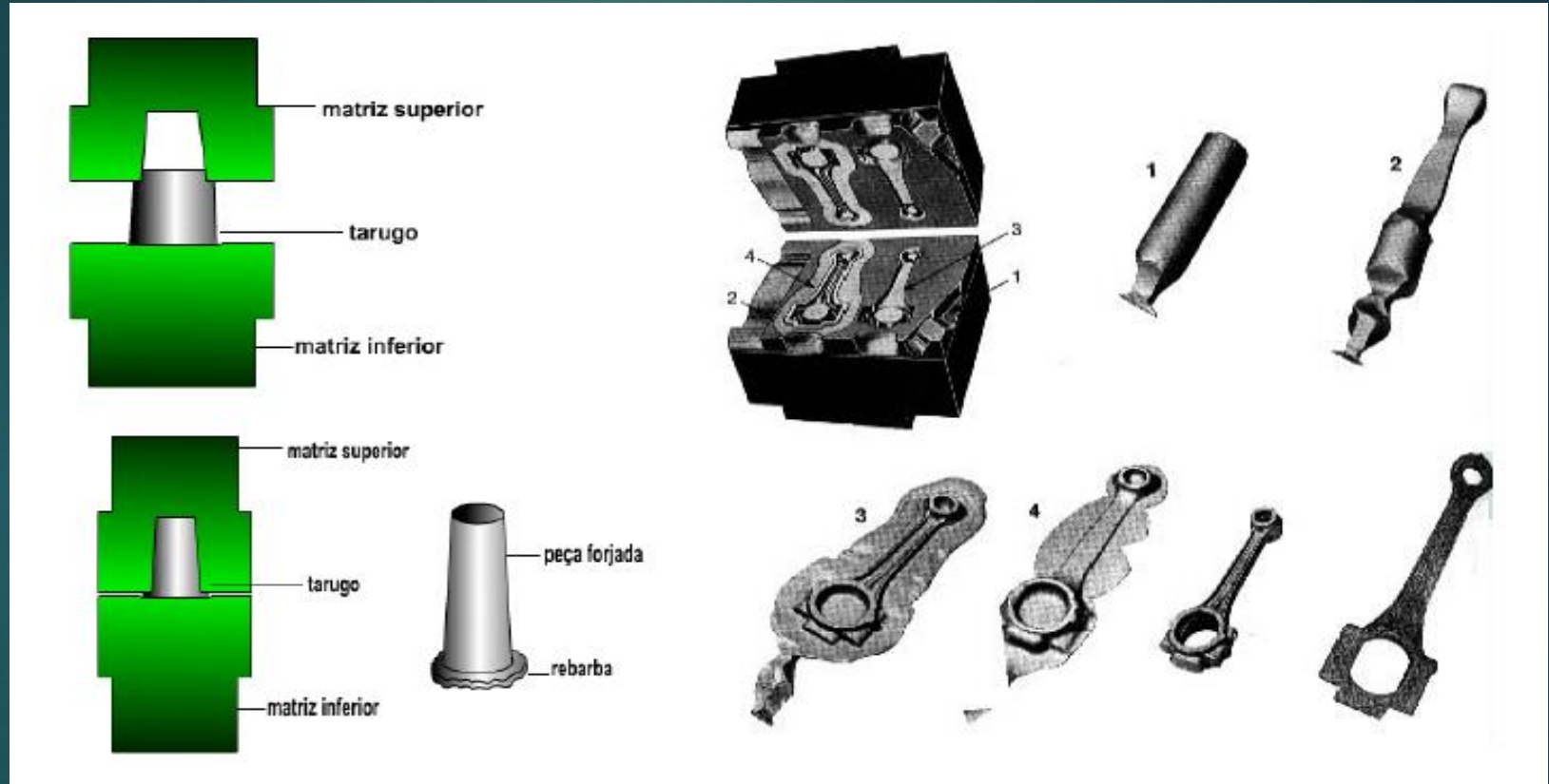


MATRIZ ABERTA

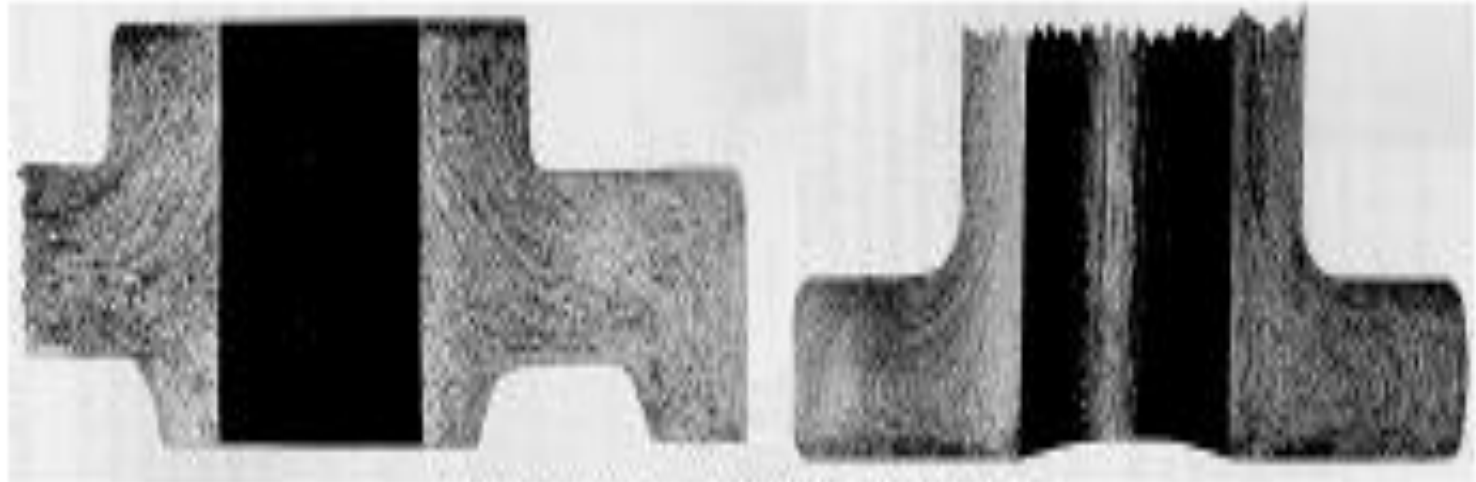


MATRIZ FECHADA S/
REBARBAS

FORJAMENTO



MATRIZ FECHADA C/ REBARBA

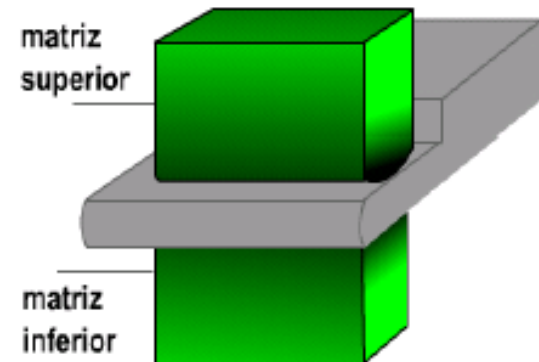
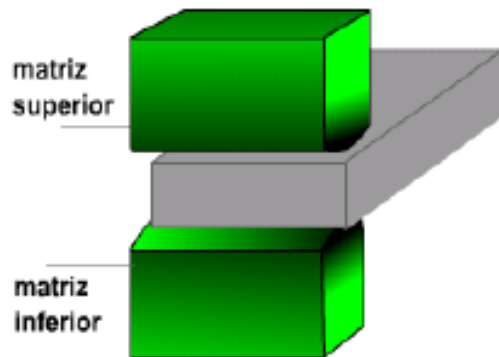


Aligned fibre structure of forgings

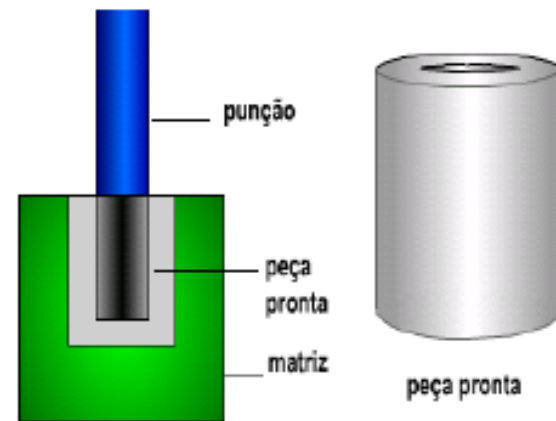
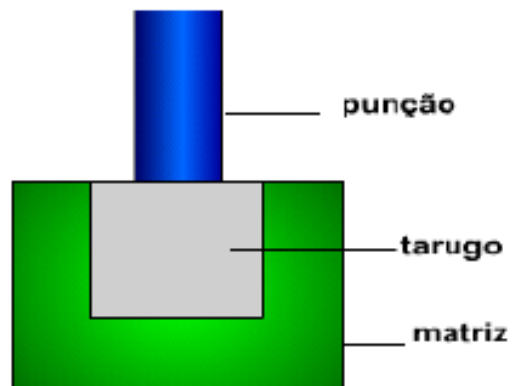
FORJAMENTO - PRODUTOS



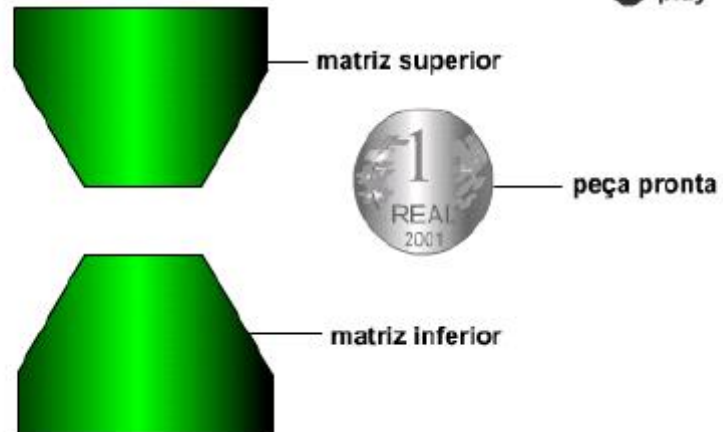
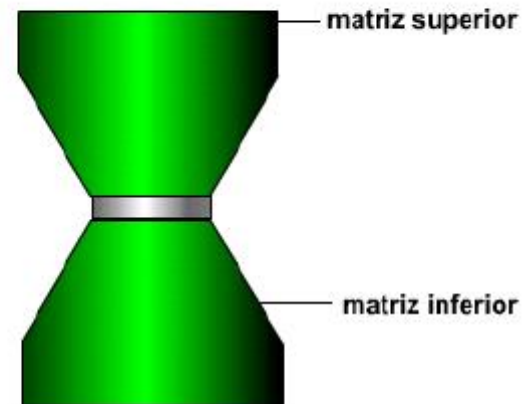
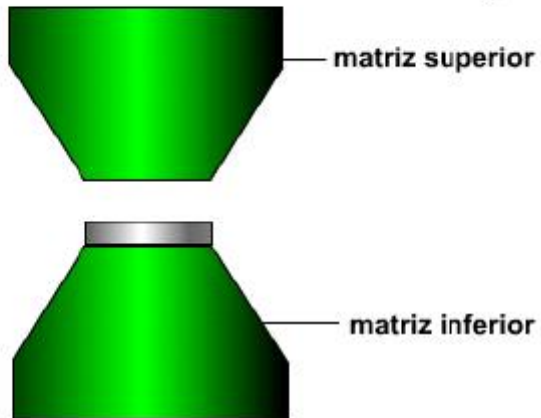
■ Alargamento



■ Furação



■ Cunhagem



TREFILAÇÃO



TREFILAÇÃO - PRODUTOS



DEFORMAÇÃO À FRIO

Aumenta a dureza e a resistência dos materiais, mas a ductilidade diminui.

Permite a obtenção de dimensões dentro de tolerâncias estreitas

Produz melhor acabamento superficial

ENCRUAMENTO OU ENDURECIMENTO PELA DEFORMAÇÃO À FRIO

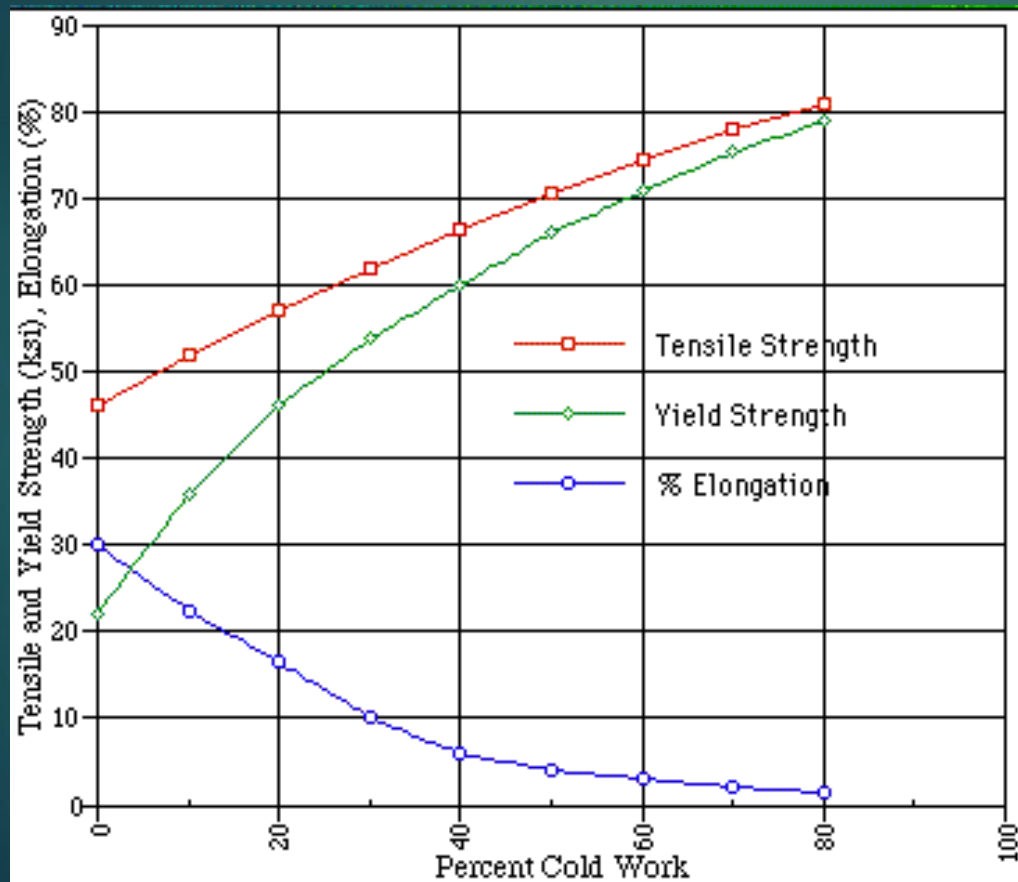
- É o fenômeno no qual um material endurece devido à deformação plástica (realizado pelo trabalho à frio)

- 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)

VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM FUNÇÃO DO ENCRUAMENTO

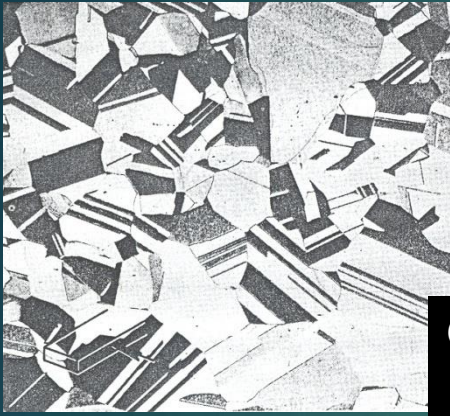


O encruamento aumenta a resistência mecânica

O encruamento aumenta o limite de escoamento

O encruamento diminui a ductilidade

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



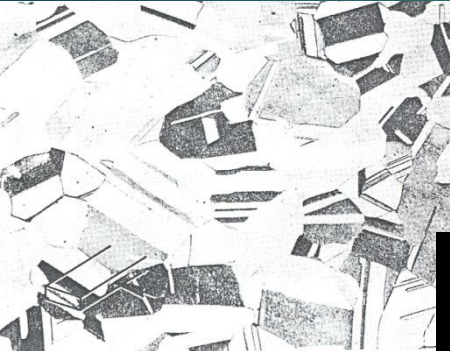
Original
43 kpsi



21% red.
62 kpsi



50% red.
86 kpsi



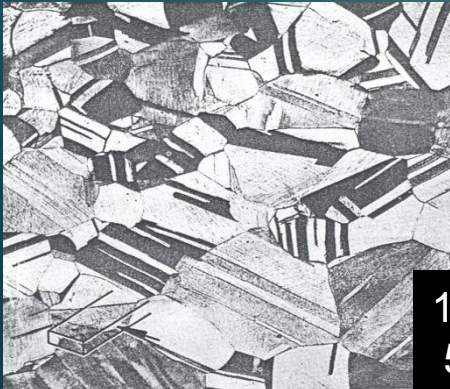
6% red.
49 kpsi



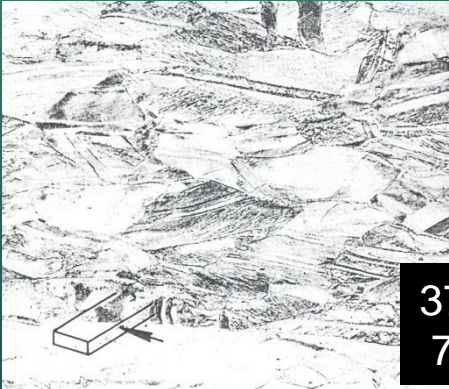
29% red.
69 kpsi



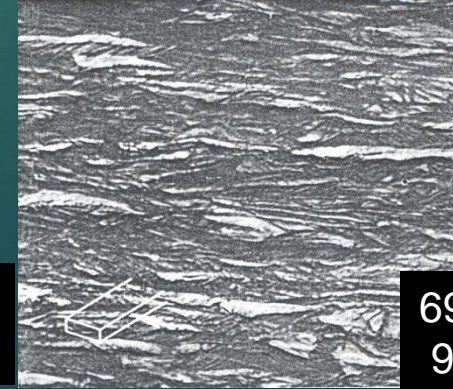
60% red.
94 kpsi



11% red.
54 kpsi

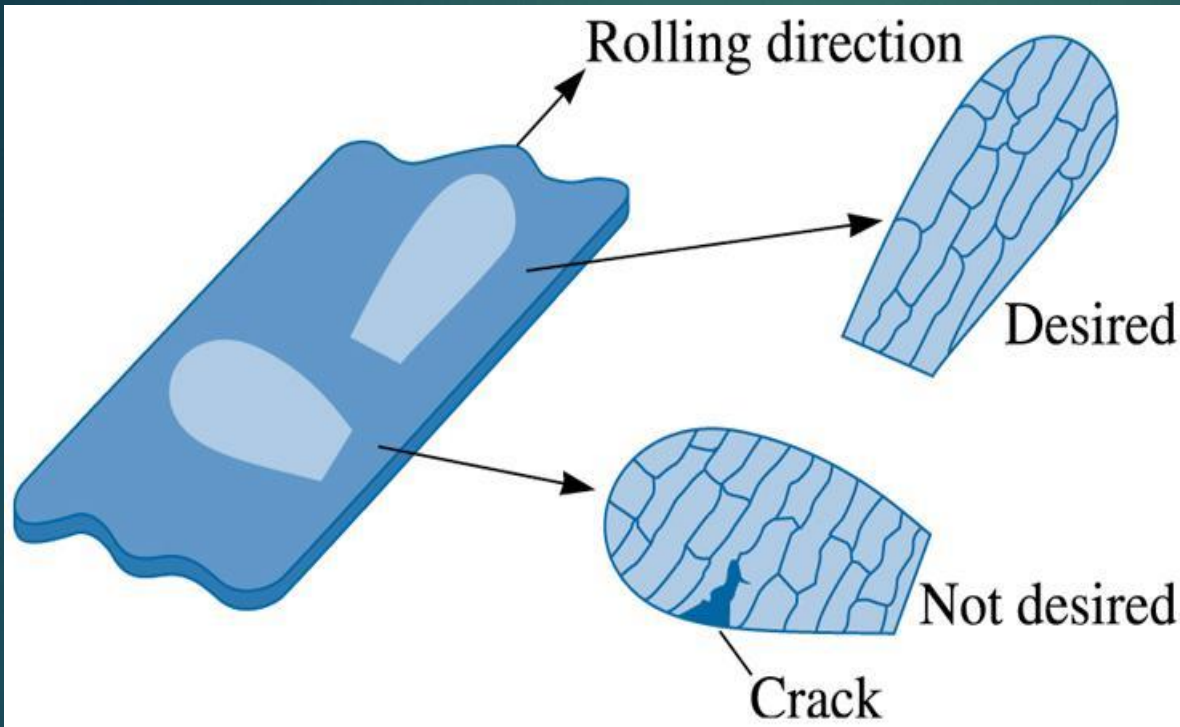


37% red.
76 kpsi



69% red.
99 kpsi

ANISOTROPIA



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning,™ is a trademark used herein under license.

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

RECRISTALIZAÇÃO

(Processo de Recozimento para Recristalização)

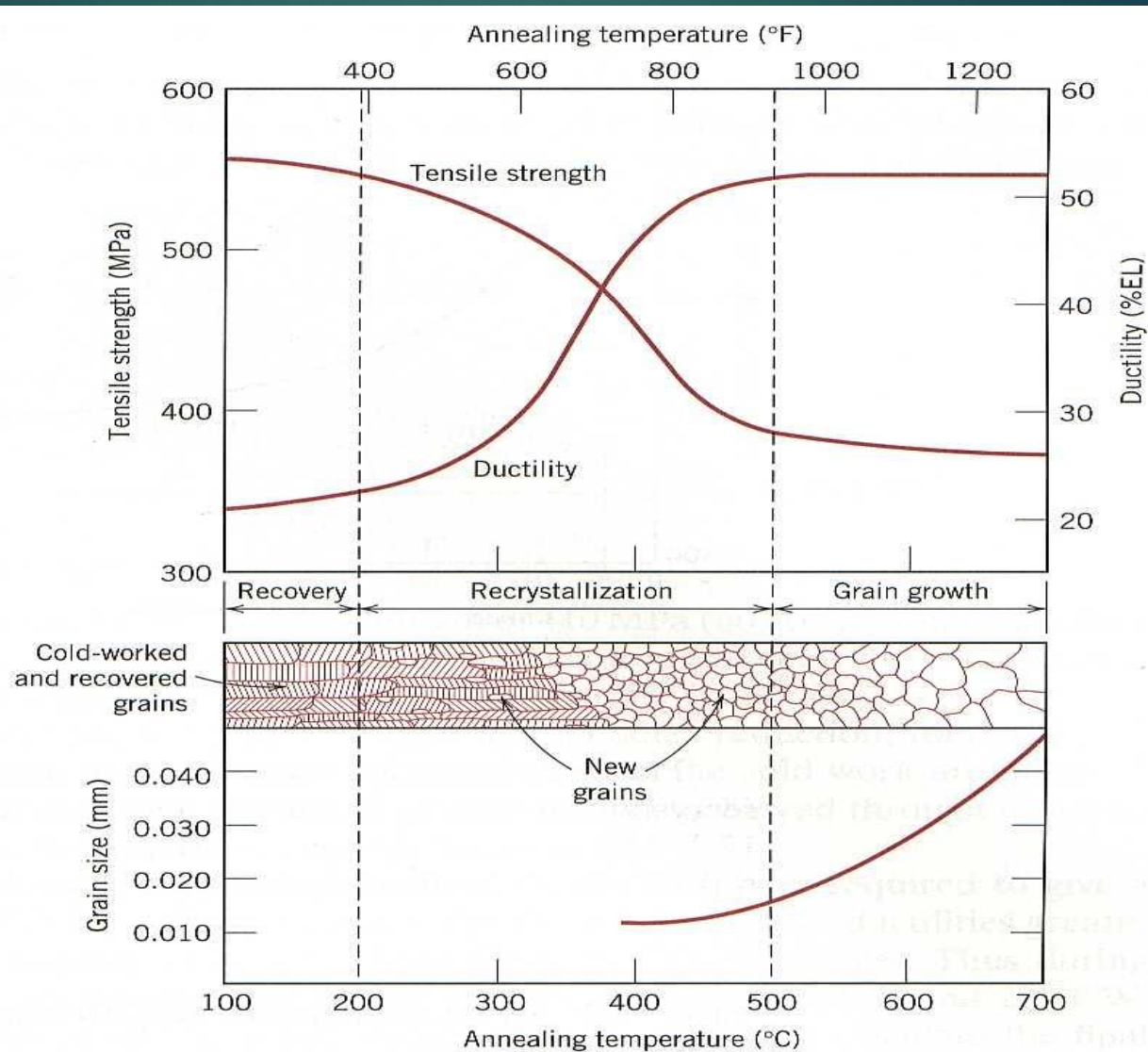
Se os metais deformados plasticamente forem submetidos a um aquecimento controlado, este aquecimento fará com que haja um rearranjo dos cristais deformados plasticamente, diminuindo a dureza dos mesmos

MECANISMOS QUE OCORREM NO AQUECIMENTO DE UM MATERIAL ENCRUADO

ESTÁGIOS:

- Recuperação
- Recristalização
- Crescimento de grão

MECANISMOS QUE OCORREM NO AQUECIMENTO DE UM MATERIAL ENCRUADO



RECUPERAÇÃO



- Há um alívio das tensões internas armazenadas durante a deformação devido ao movimento das discordâncias resultante da difusão atômica
- Nesta etapa há uma redução do número de discordâncias e um rearranjo das mesmas
- Propriedades físicas como condutividade térmica e elétrica voltam ao seu estado original (correspondente ao material não-deformado)

RECRISTALIZAÇÃO

- Depois da recuperação, os grãos ainda estão tensionados
- Na recristalização os grãos se tornam novamente equiaxiais (dimensões iguais em todas as direções)
- O número de discordâncias reduz mais ainda
As propriedades mecânicas voltam ao seu estado original

Forma-se um novo conjunto de grãos que são equiaxiais

RECRISTALIZAÇÃO

Forma-se um novo conjunto de grãos que são equiaxiais

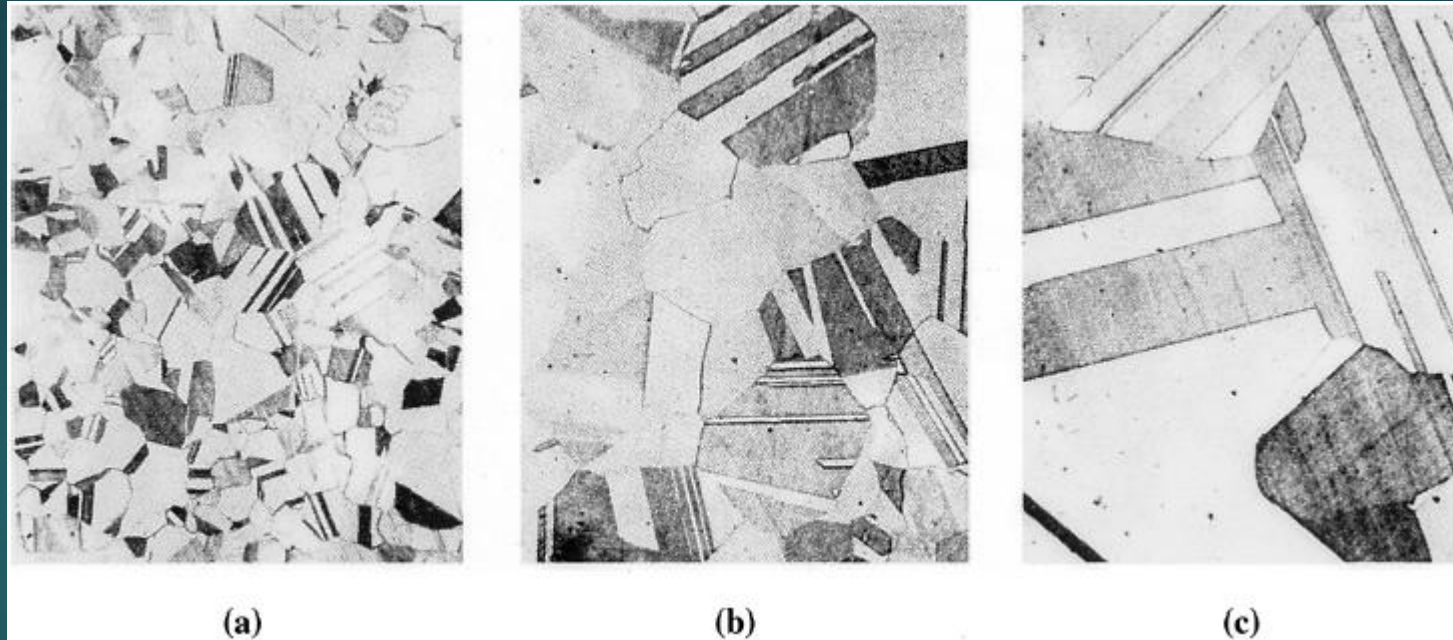


Pode-se refinar o grão de uma liga monofásica mediante deformação plástica e recristalização

CRESCIMENTO DE GRÃO

- Depois da recristalização se o material permanecer por mais tempo em temperaturas elevadas o grão continuará à crescer
- Em geral, quanto maior o tamanho de grão mais mole é o material e menor é sua resistência

CRESCIMENTO DE GRÃO

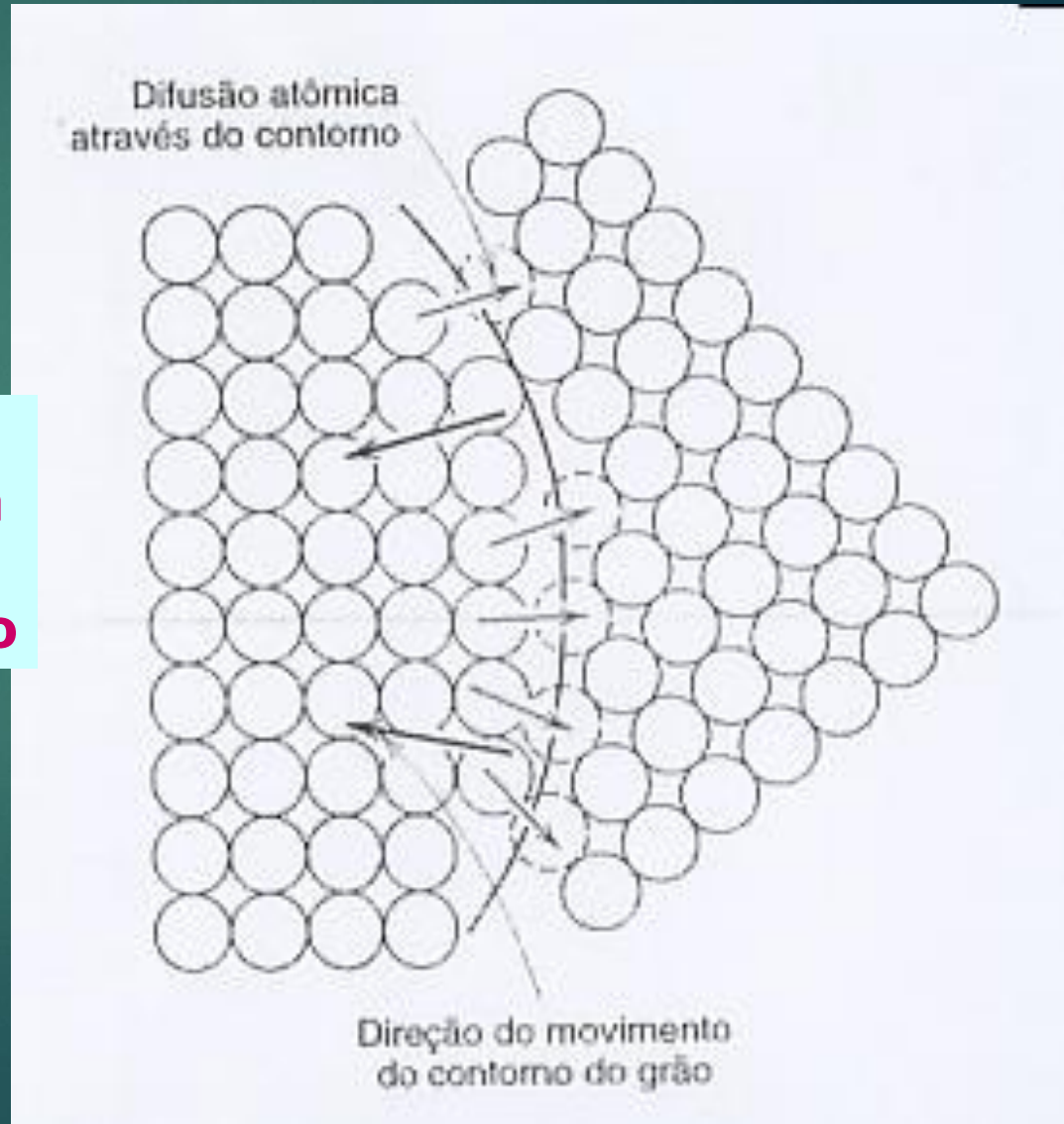


Quanto maior a temperatura, mais energia para o grão crescer.

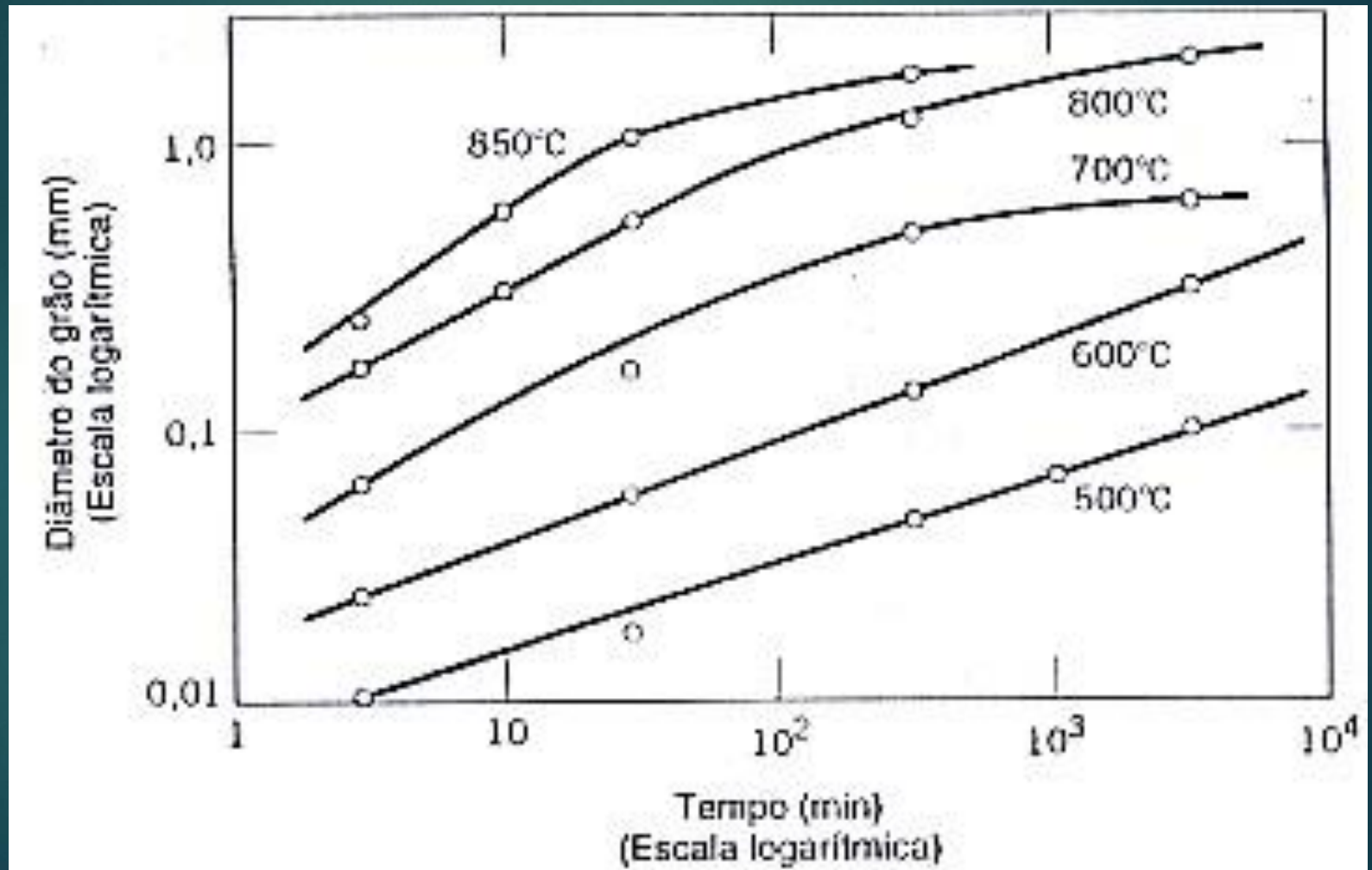
(a) Recozido a 400oC, (b) recozido a 650oC, e (c) recozido a 800oC .

CRESCIMENTO DE GRÃO POR DIFUSÃO

Pode-se refinar o grão de uma liga monofásica mediante deformação plástica e recristalização



DEPENDÊNCIA DO TAMANHO DE GRÃO COM O TEMPO DE AQUECIMENTO



TEMPERATURAS DE RECRISTALIZAÇÃO

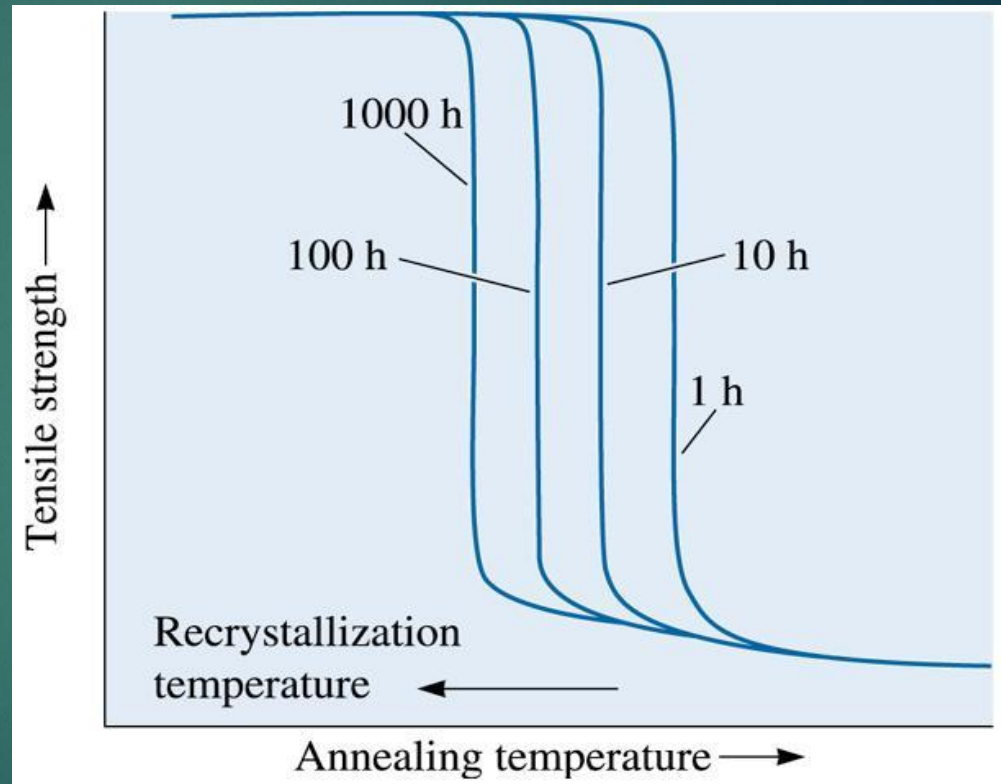
A temperatura de recristalização é do grau de deformação

- A temperatura de recristalização está entre $1/3$ e $1/2$ da temperatura de fusão

DEPENDÊNCIA DA TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO E DO TEMPO

QUANTO MAIS ALTA A TEMPERATURA DE RECOZIMENTO, MAIS RÁPIDA A RECRISTALIZAÇÃO ACONTECE.

Note que a temperatura de recristalização pode não acontecer a uma temperatura fixa.



TEMPERATURA DE RECRISTALIZAÇÃO

• TIPO DE MATERIAL

• GRAU DE DEFORMAÇÃO

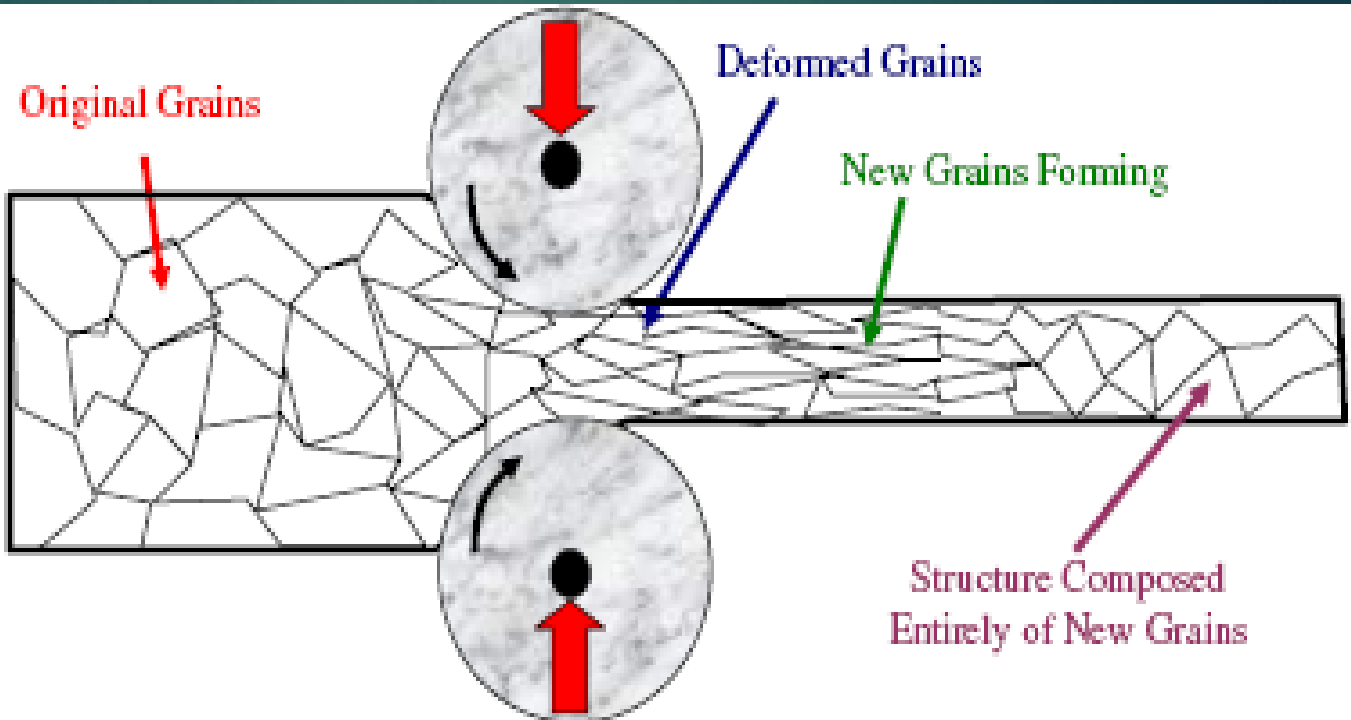
TABLE 7-4 ■ *Typical recrystallization temperatures for selected metals*

Metal	Melting Temperature (°C)	Recrystallization Temperature (°C)
Sn	232	-4
Pb	327	-4
Zn	420	10
Al	660	150
Mg	650	200
Ag	962	200
Cu	1085	200
Fe	1538	450
Ni	1453	600
Mo	2610	900
W	3410	1200

(Source: Adapted from Structure and Properties of Engineering Materials, by R. Brick, A. Pense, and R. Gordon, 1977. Copyright © 1977 The McGraw-Hill Companies. Adapted by permission.)

DEFORMAÇÃO À QUENTE E DEFORMAÇÃO À FRIO

- **Deformação à quente:** quando a deformação ou trabalho mecânico é realizado acima da temperatura de recristalização do material
- **Deformação à frio:** quando a deformação ou trabalho mecânico é realizado abaixo da temperatura de recristalização do material



DEFORMAÇÃO À QUENTE

VANTAGENS

- Permite o emprego de menor esforço mecânico para a mesma deformação (necessita-se então de máquinas de menor capacidade se comparado com o trabalho a frio).
- Promove o refinamento da estrutura do material, melhorando a tenacidade
- Elimina porosidades
- Deforma profundamente devido a recristalização

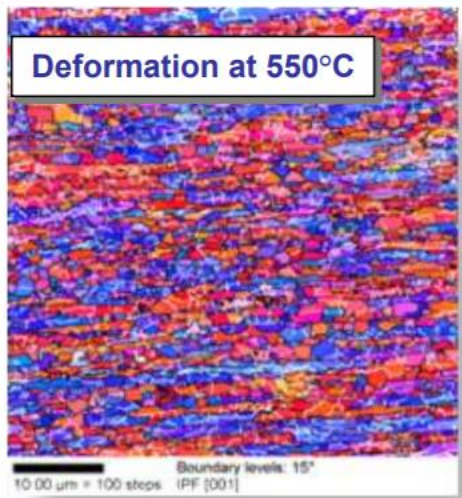
DESVANTAGENS:

- Exige ferramental de boa resistência ao calor, o que implica em custo
- O material sofre maior oxidação, formando casca de óxidos
- Não permite a obtenção de dimensões dentro de tolerâncias estreitas

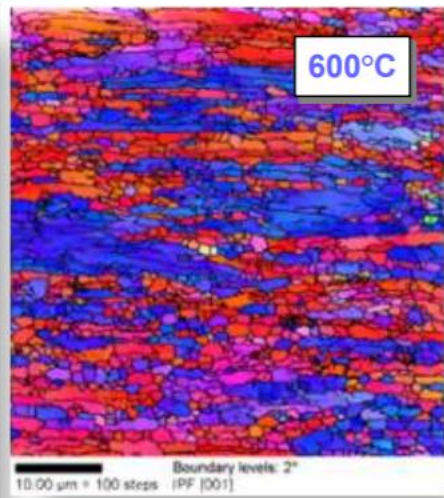
Effect of deformation temperature



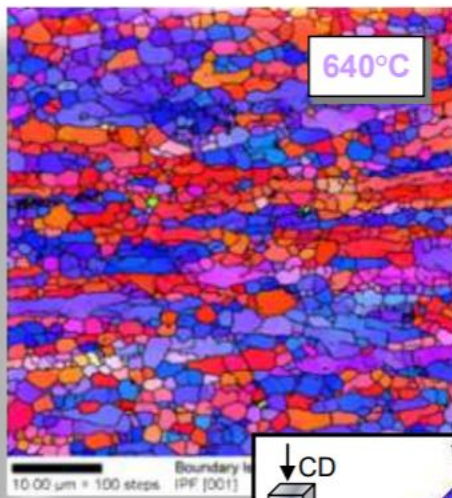
Deformation at 550°C



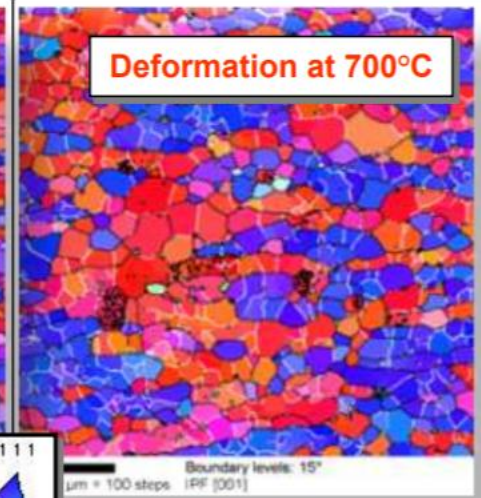
600°C



640°C



Deformation at 700°C



TAMANHO DO GRÃO

☞ Tamanho do grão influi nas propriedades dos materiais.

☞ O tamanho do grão é determinado através de “cartas padrões”.

ASTM - American Society for Testing and Materials

(ou ABNT)

Número do tamanho de grão: 1 - 10

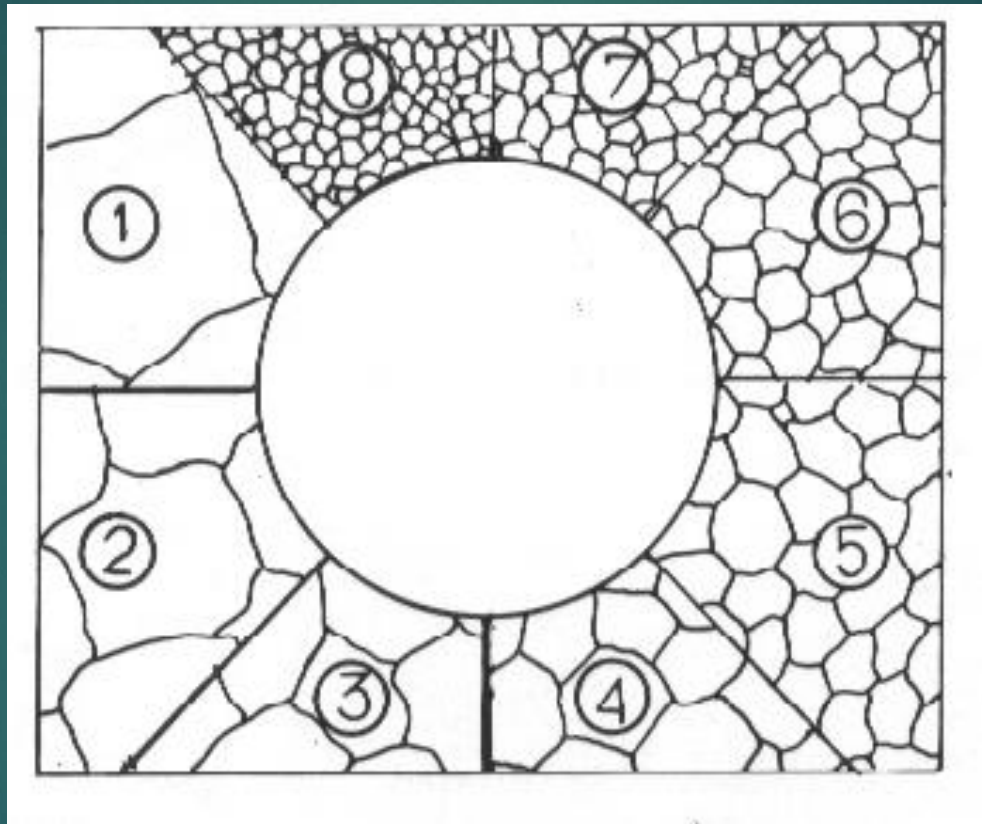
Aumento: x100

$$N = 2^{n-1}$$

N = número médio de grãos por polegada quadrada

n = tamanho do grão

Tamanho do grão: Ocular para medida direta



A rede hexagonal que se igualar na projeção, com os grãos da amostra, para um aumento de 100x, representará o número do tamanho do grão