

Deformação Plástica

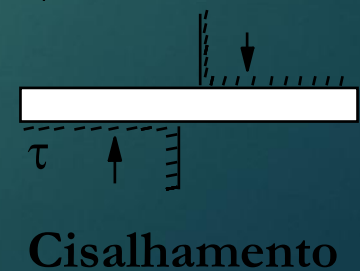
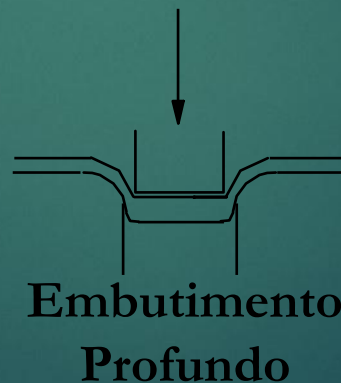
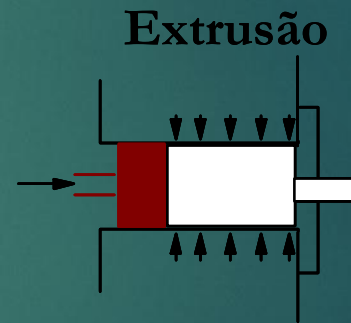
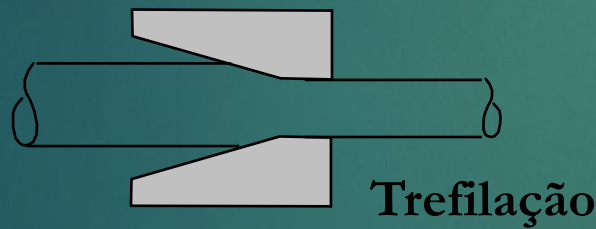
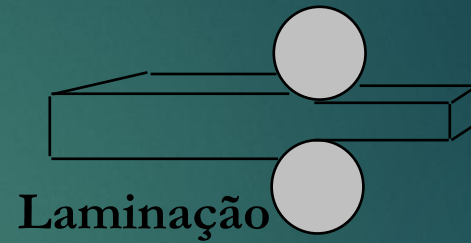
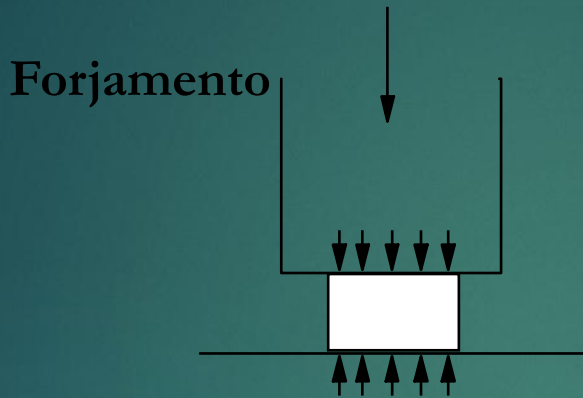
Metalografia Quantitativa

Assistir aula unicamp

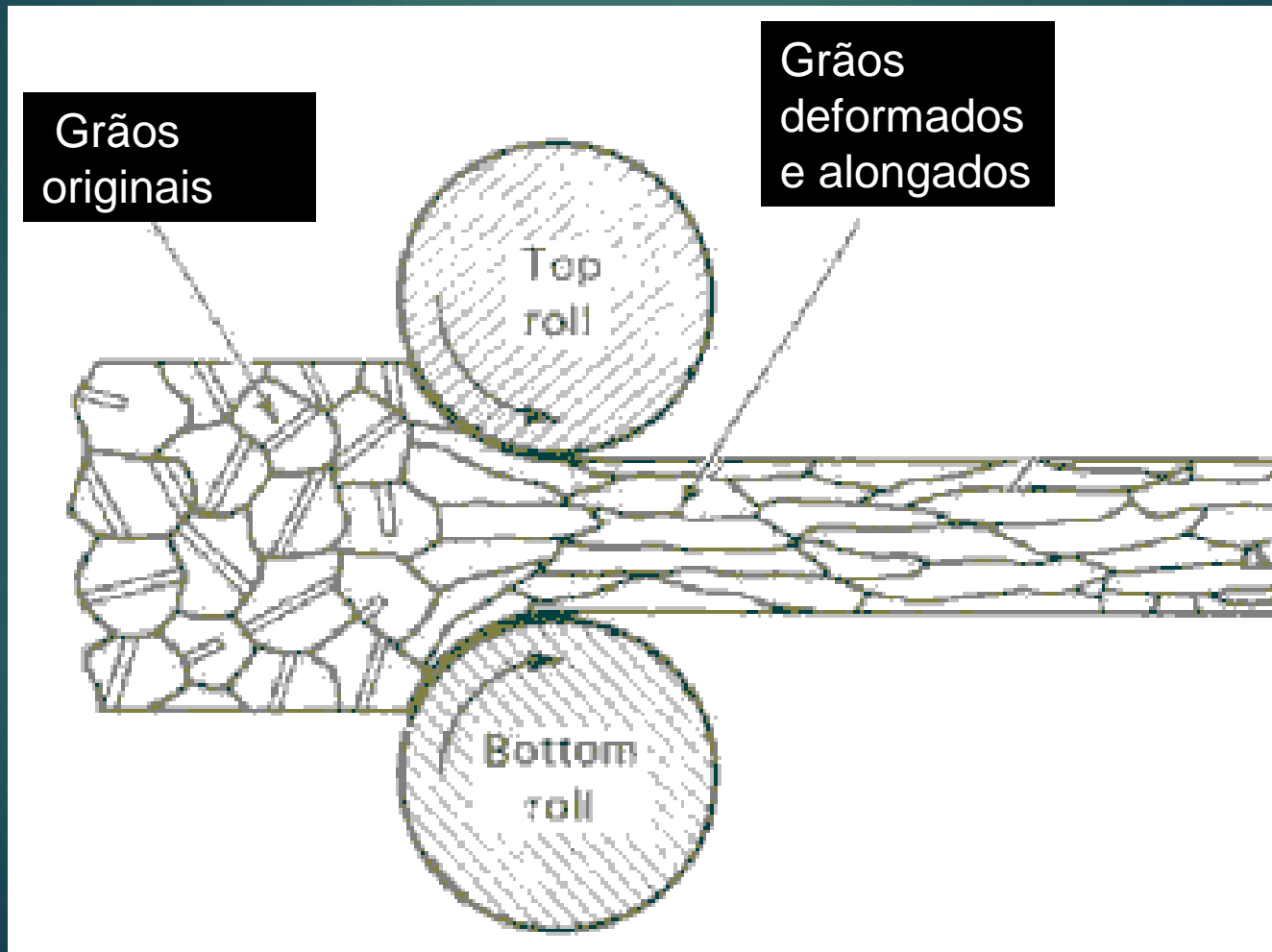
<https://www.youtube.com/watch?v=iGM6MqKQdiM&t=6s>

PROFA. DRA. LAURALICE CANALE

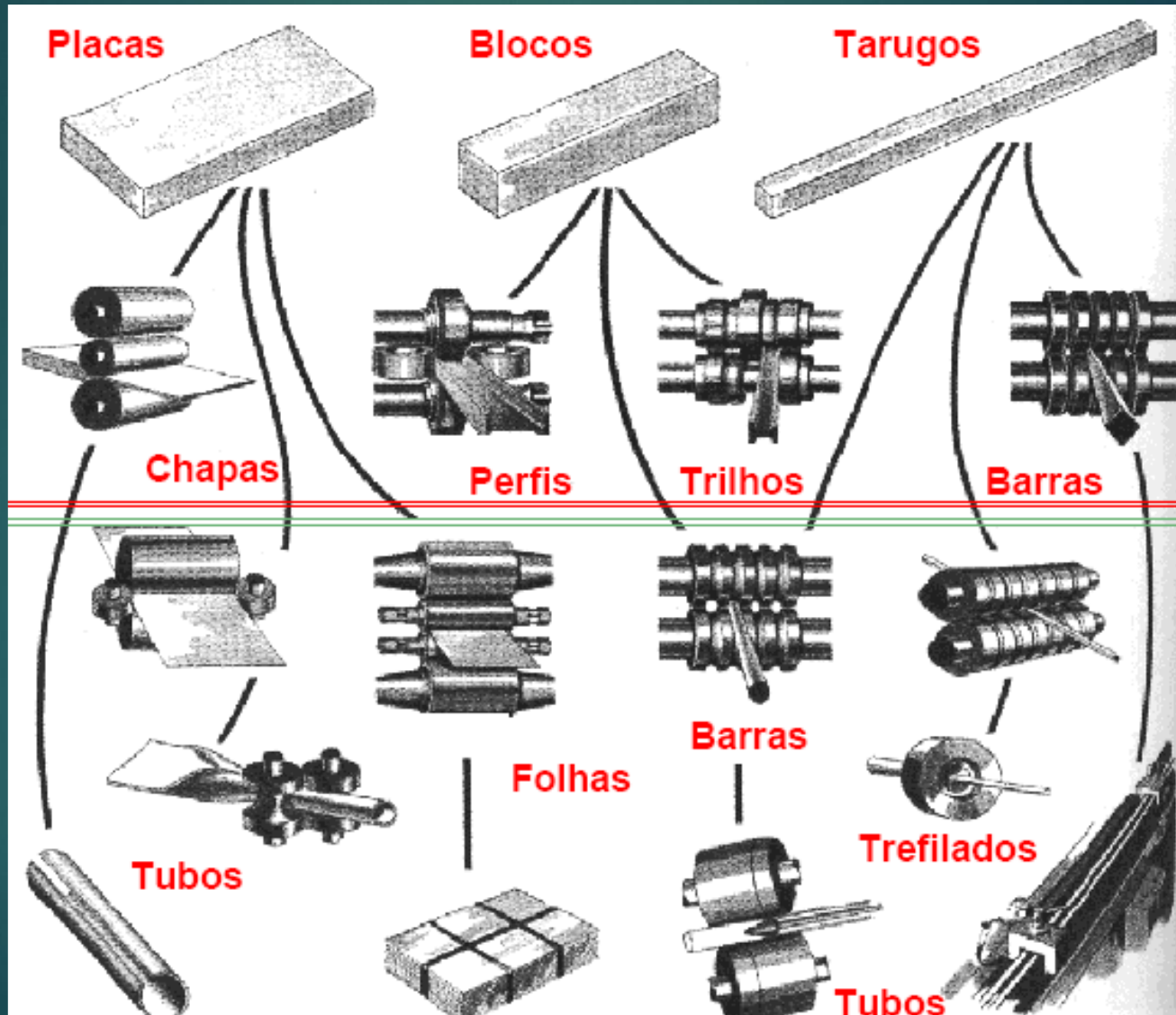
TIPOS DE CONFORMAÇÃO

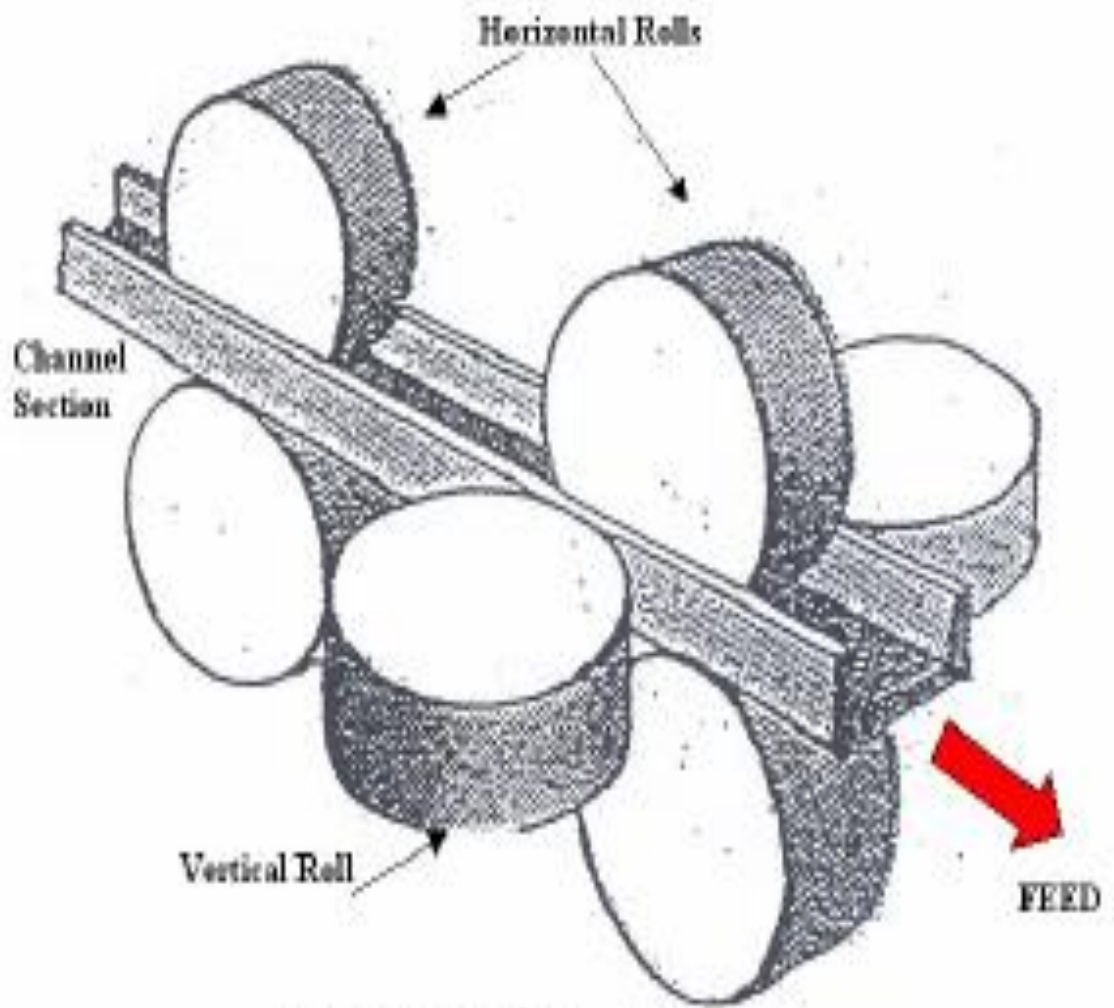


MECÂNICA DA LAMINAÇÃO



LAMINAÇÃO - PRODUTOS





Rolling Carried Out On All Surfaces

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

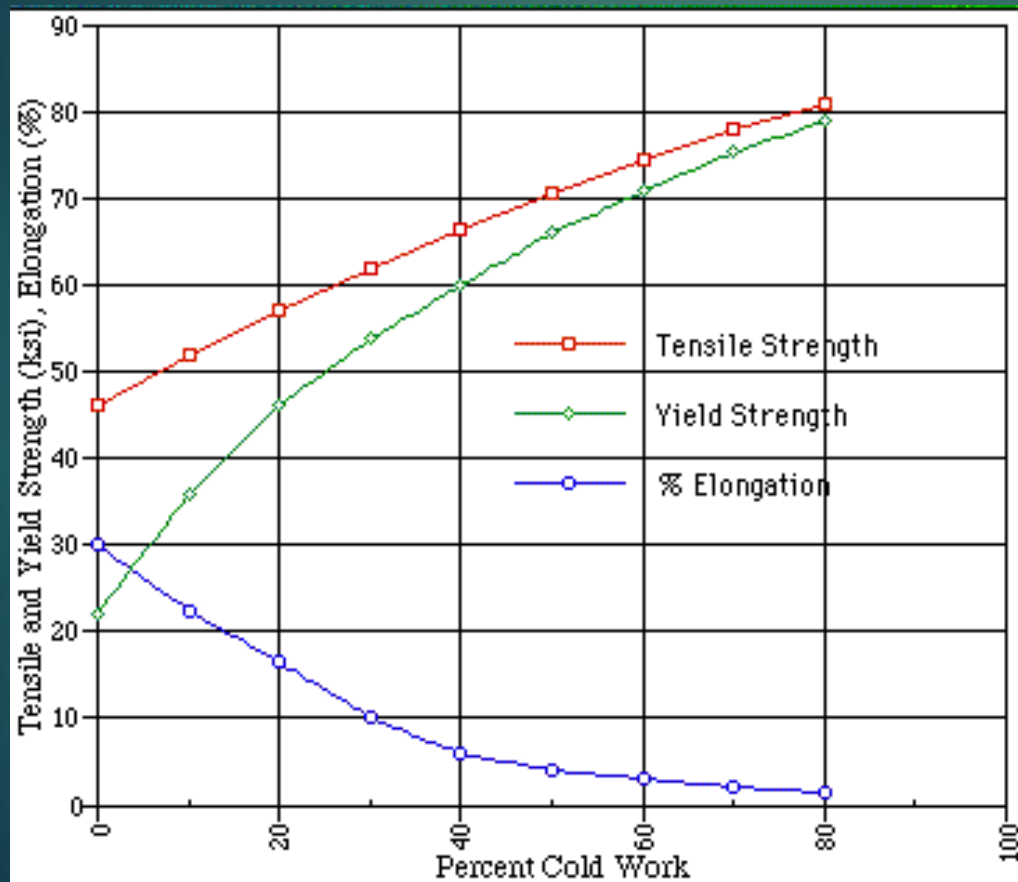
- É o fenômeno no qual um material endurece devido à deformação plástica (realizado pelo trabalho à frio)

- 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



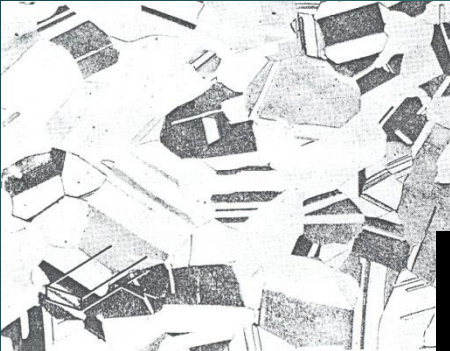
Original
43 kpsi



21% red.
62 kpsi



50% red.
86 kpsi



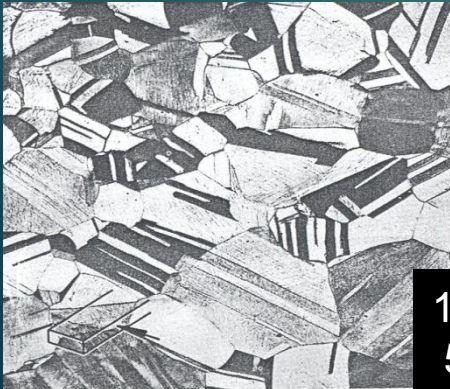
6% red.
49 kpsi



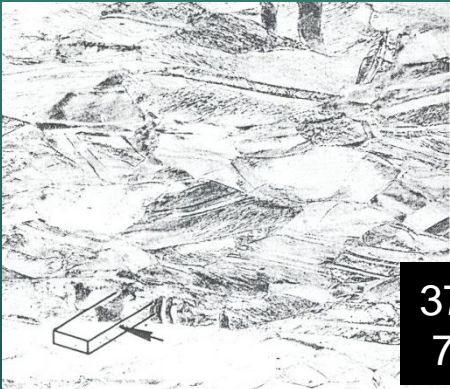
29% red.
69 kpsi



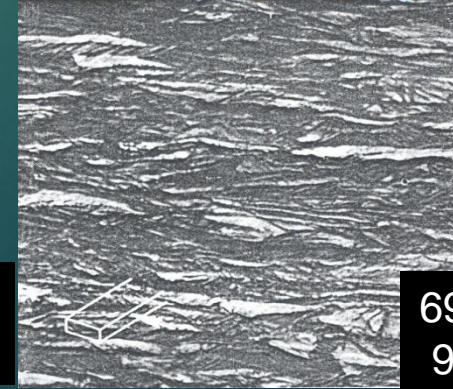
60% red.
94 kpsi



11% red.
54 kpsi

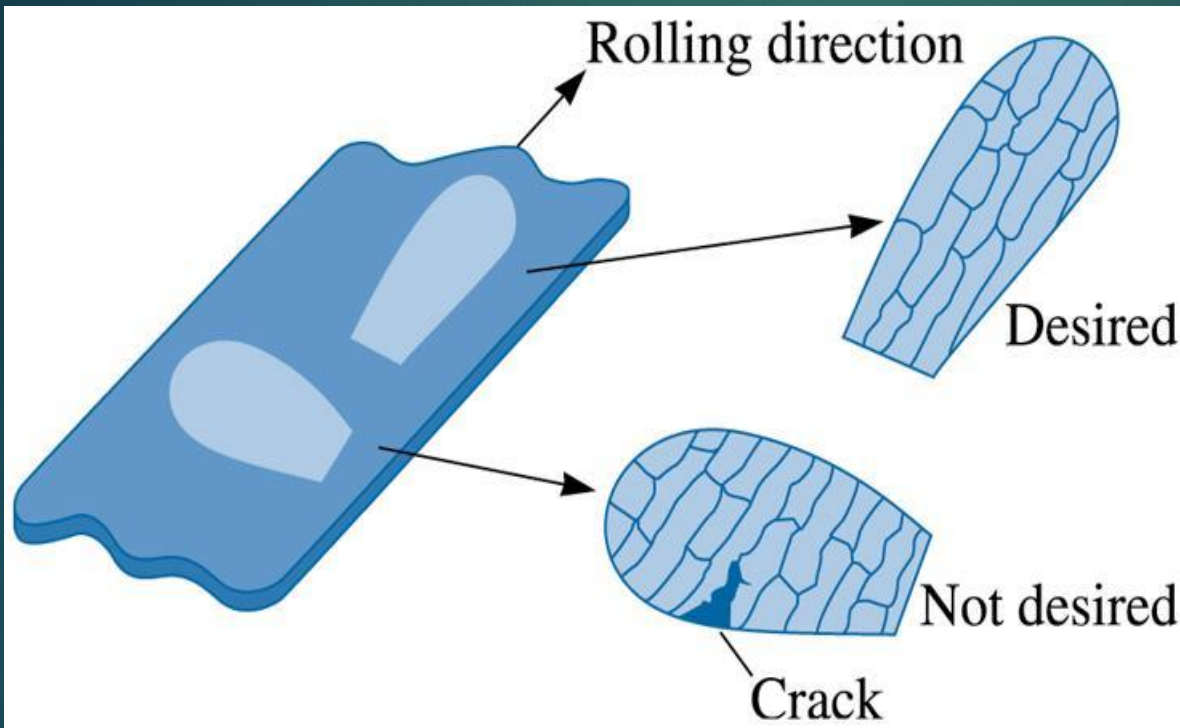


37% red.
76 kpsi



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)

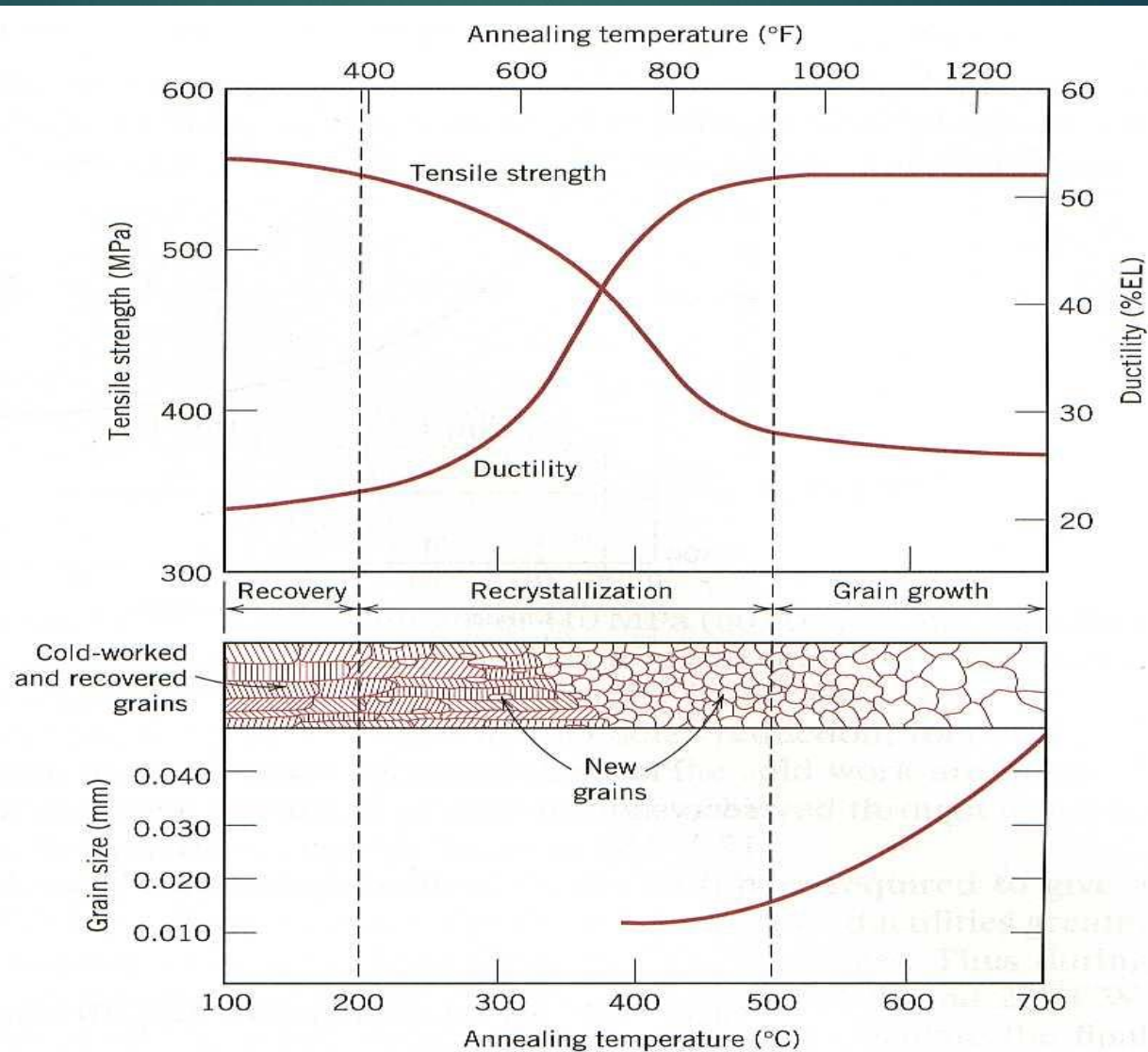
Se os metais deformados plasticamente forem submetidos a um aquecimento controlado, este aquecimento fará com que haja um rearranjo dos cristais deformados plasticamente, diminuindo a dureza dos mesmos

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

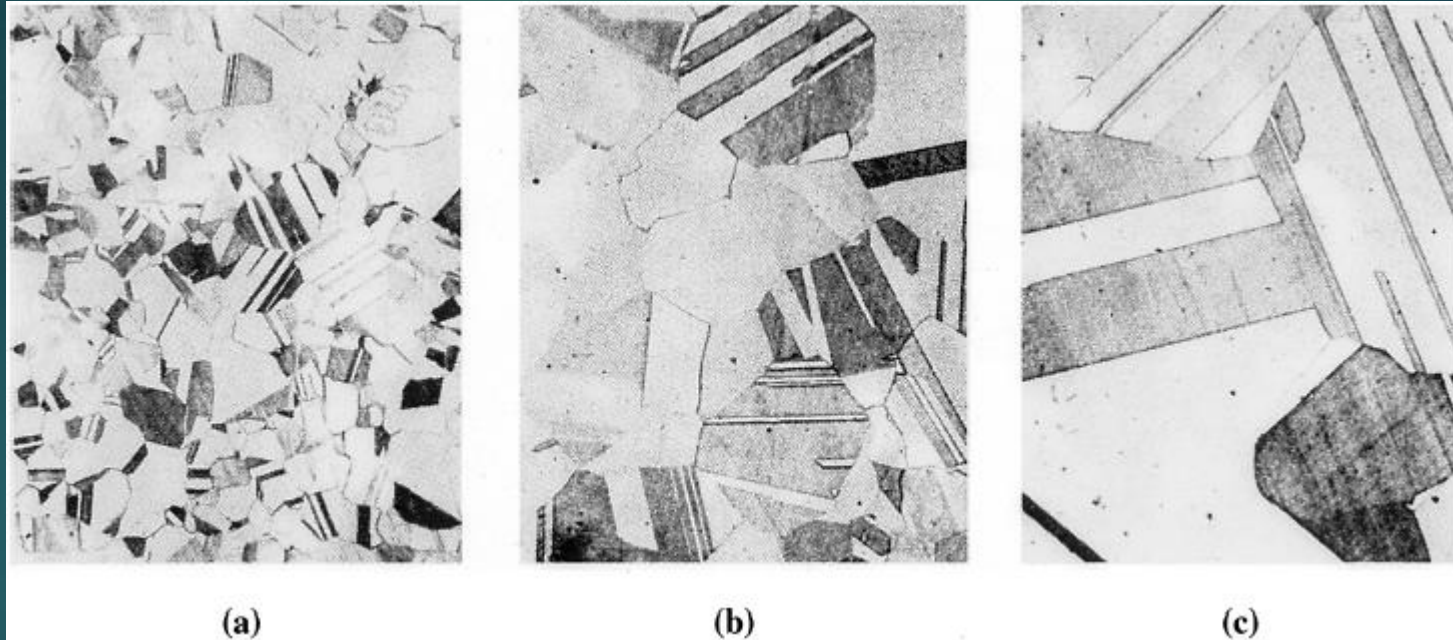


Pode-se refinar o grão de uma liga monofásica mediante deformação plástica e recristalização

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

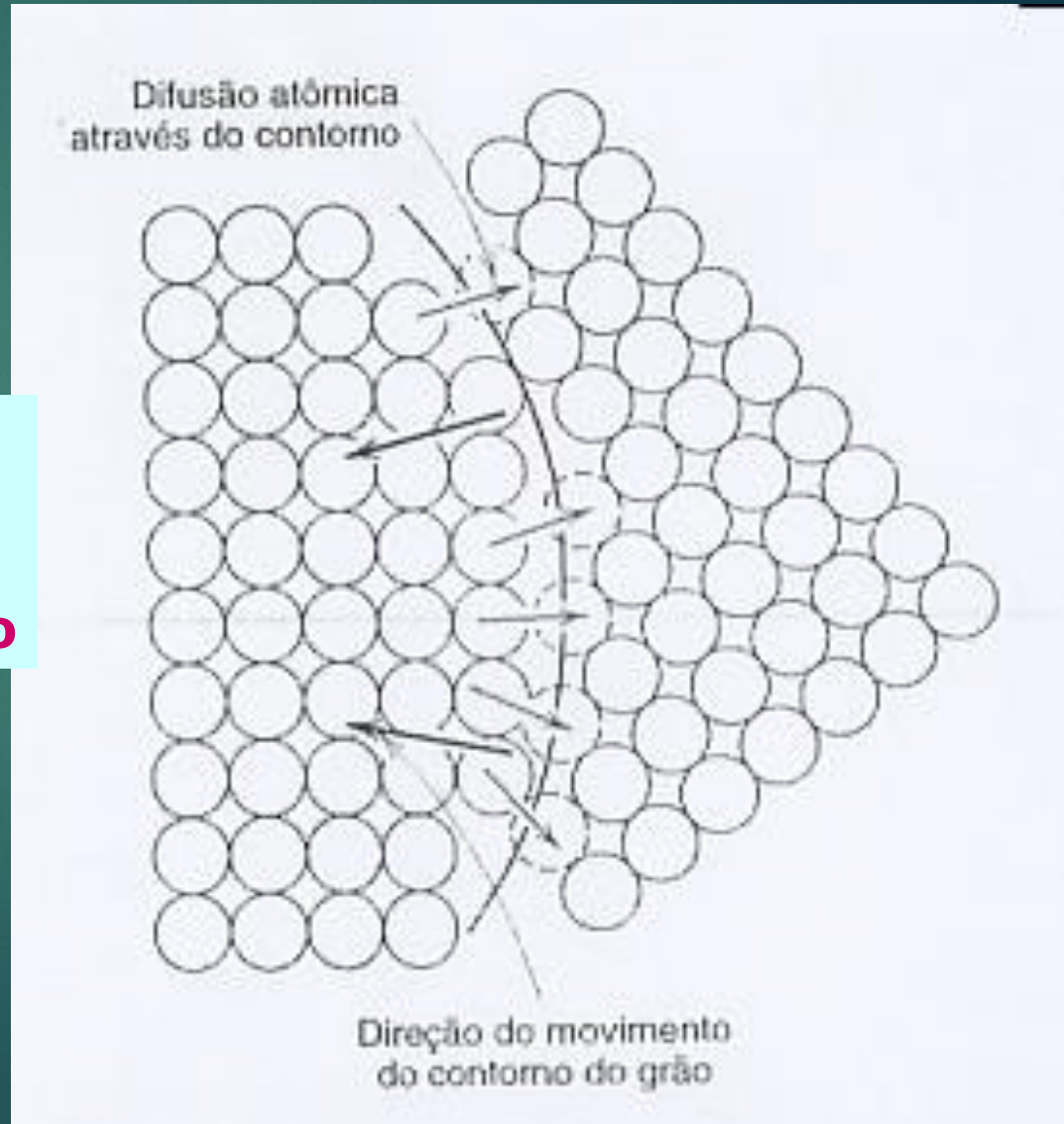


Quanto maior a temperatura, mais energia para o grão crescer.

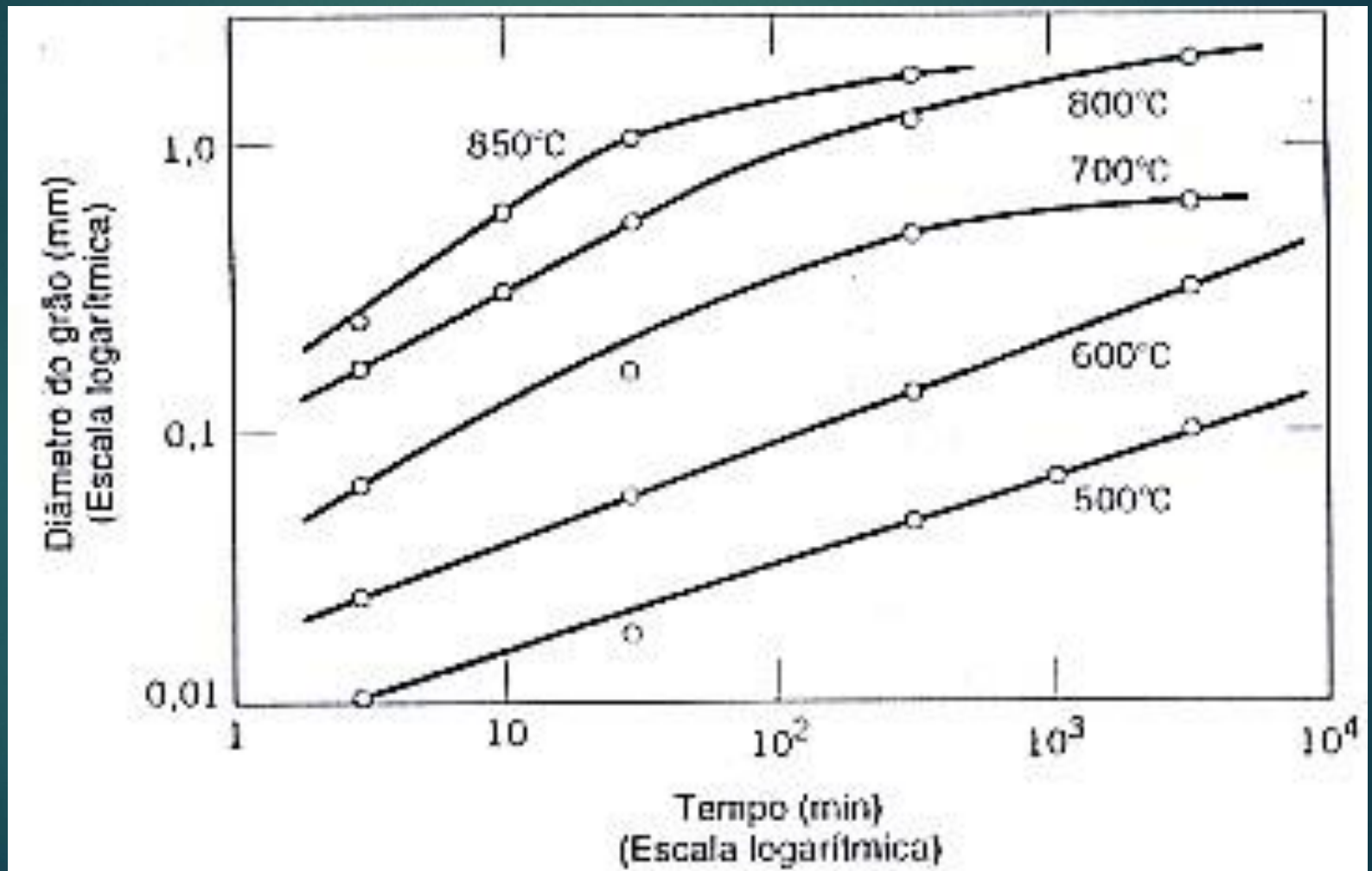
(a) Recozido a 400oC, (b) recozido a 650oC, e (c) recozido a 800oC .

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

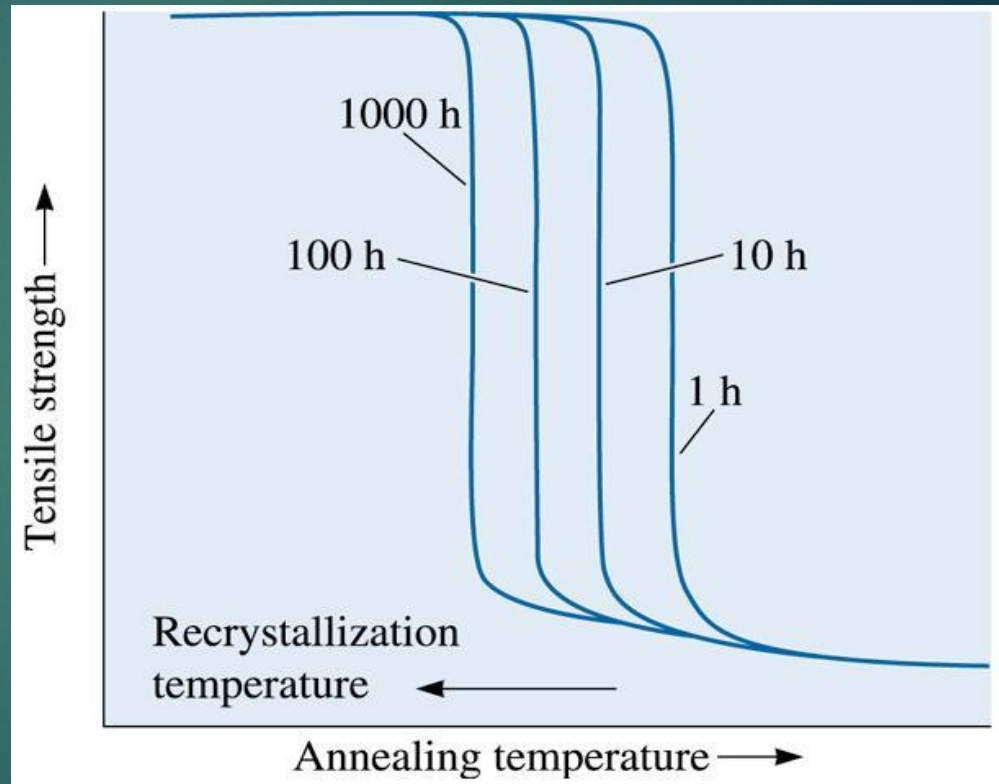
A temperatura de recristalização é do grau de deformação

- 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

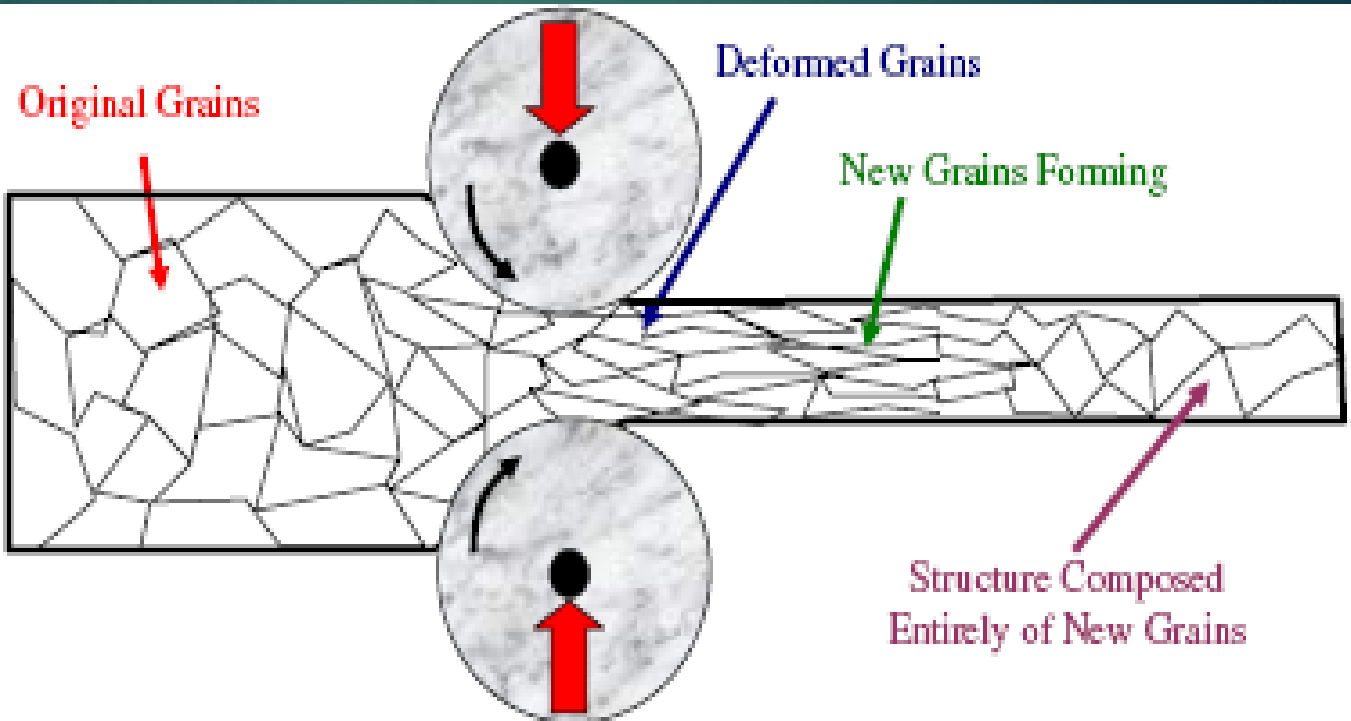
TABLE 7-4 ■ *Typical recrystallization temperatures for selected metals*

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

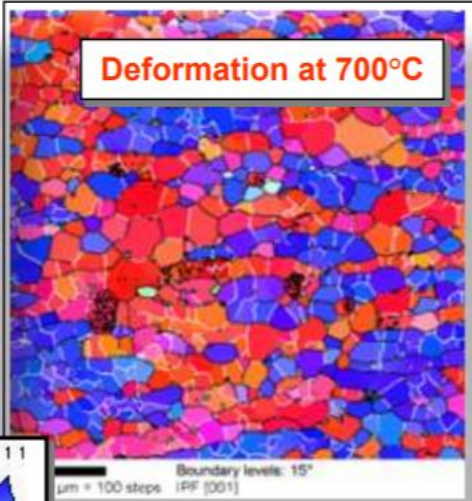
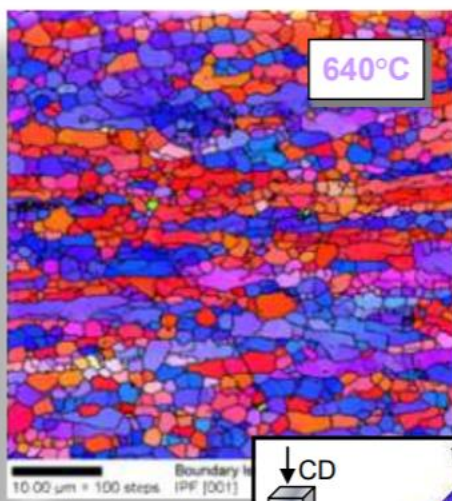
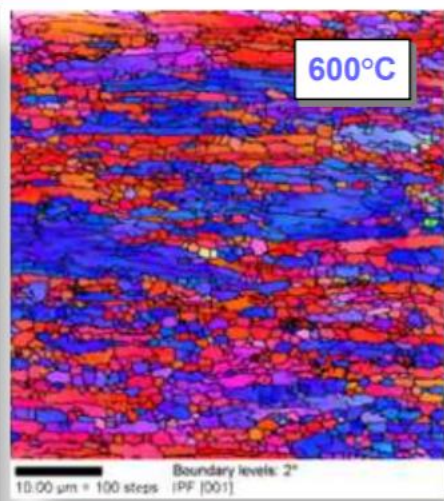
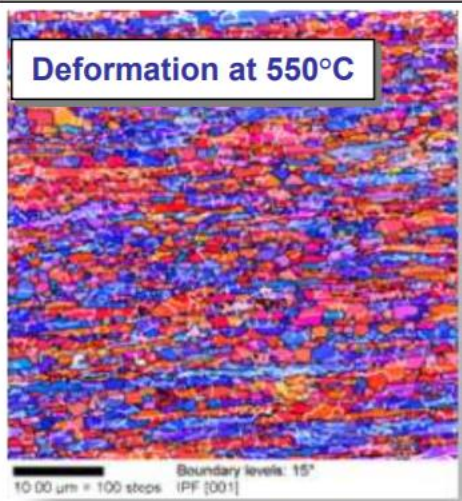
VANTAGENS

- 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



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

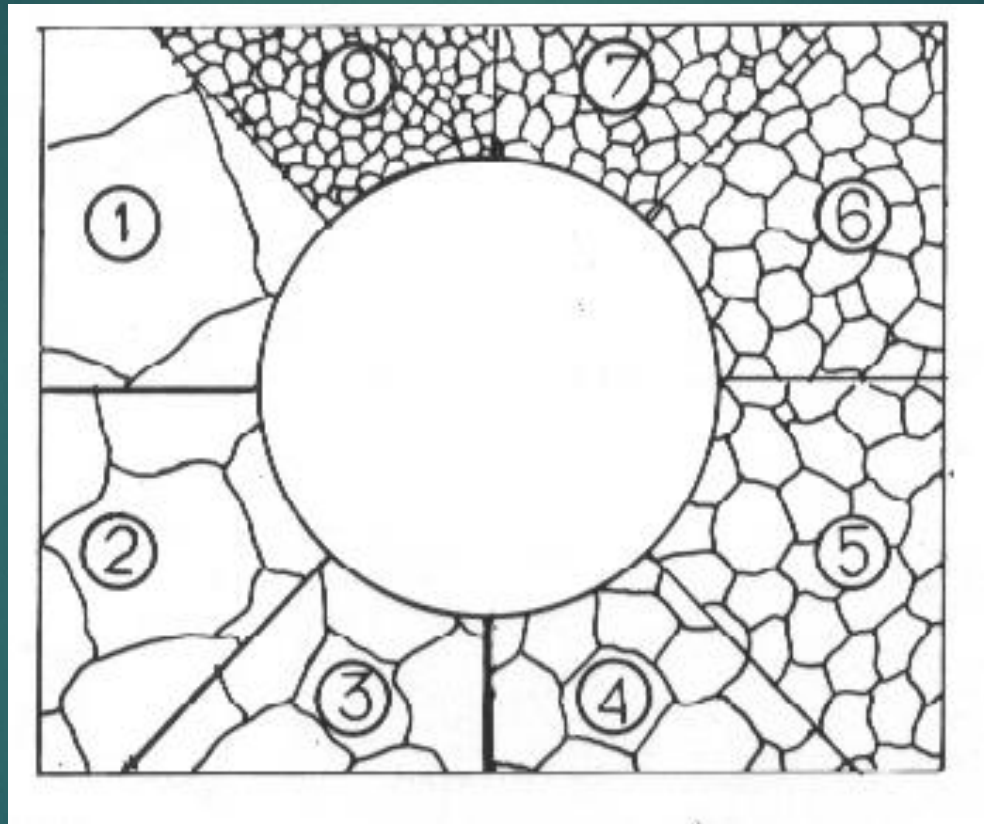
Aumento: x100

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

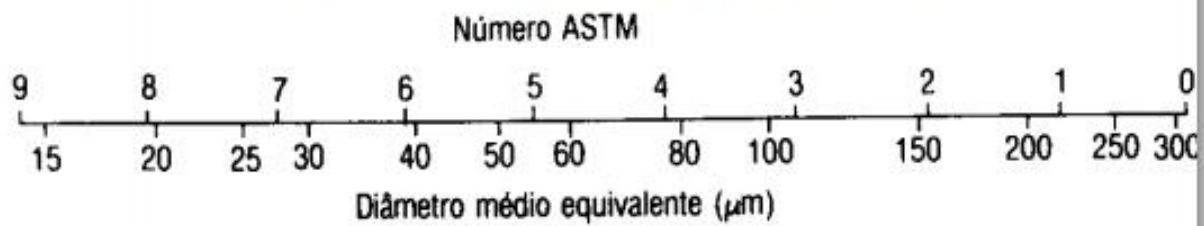
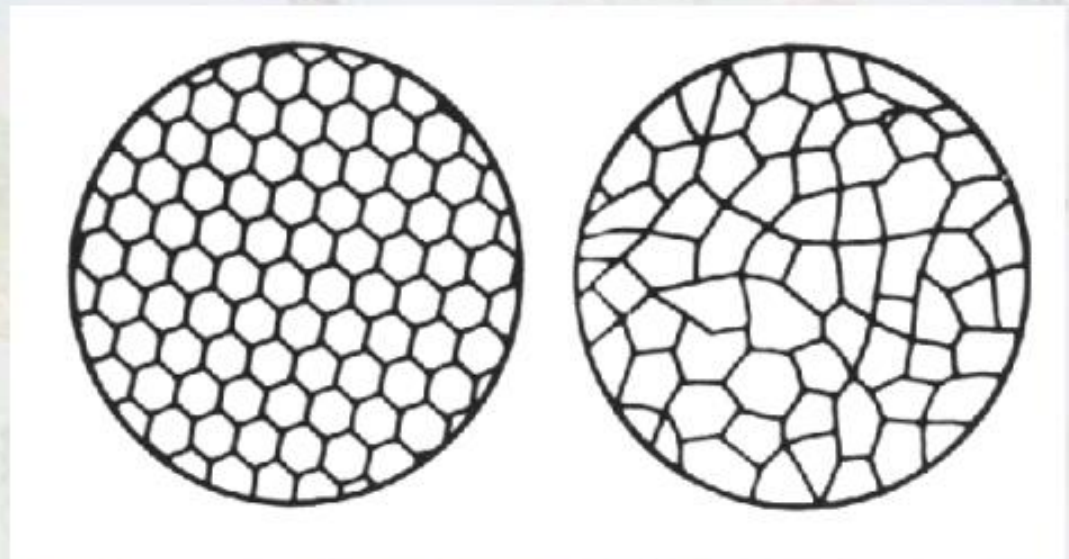
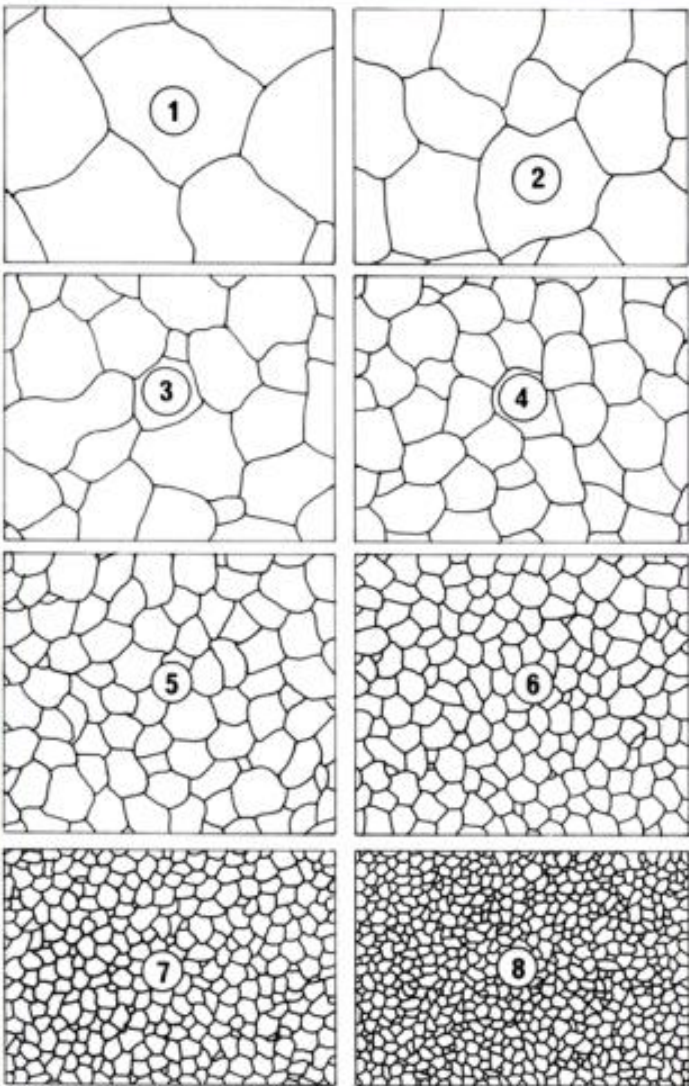
N = número médio de grãos por polegada quadrada

n = tamanho do grão

Tamanho do grão: Ocular para medida direta

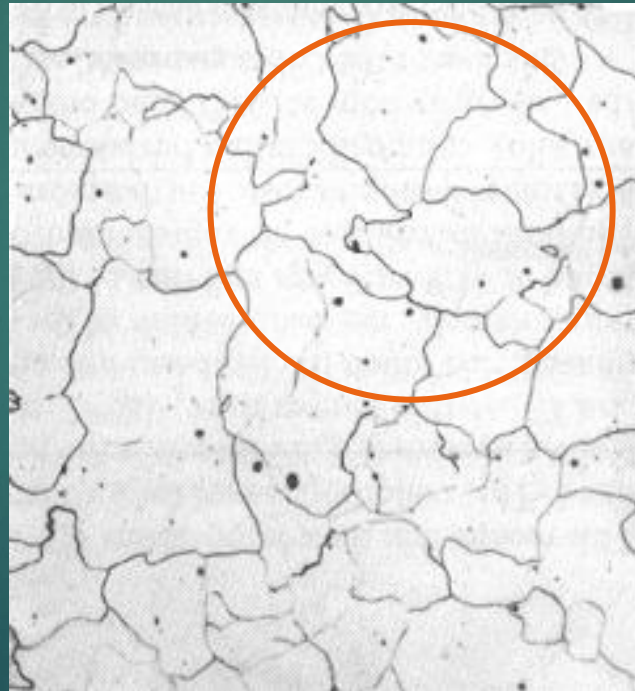


A rede hexagonal que se igualar na projeção, com os grãos da amostra, para um aumento de 100x, representará o número do tamanho do grão



Tamanho do grão: Método planimétrico de Jefferies

Determina-se o número de grãos situados dentro do círculo (N_c) e o número de grãos interceptados pela circunferência (N_i)



Tamanho do grão: Método planimétrico de Jefferies

Número de grãos equivalente

$$N_{eq} = \frac{N_i}{2} + N_c$$

$$N_A = N_{eq} / A$$

O número de grãos por unidade de área

Número de grãos por unidade de comprimento

$$N_A = 0,735 \cdot N_L^2$$

$$D = \frac{1}{N_L}$$

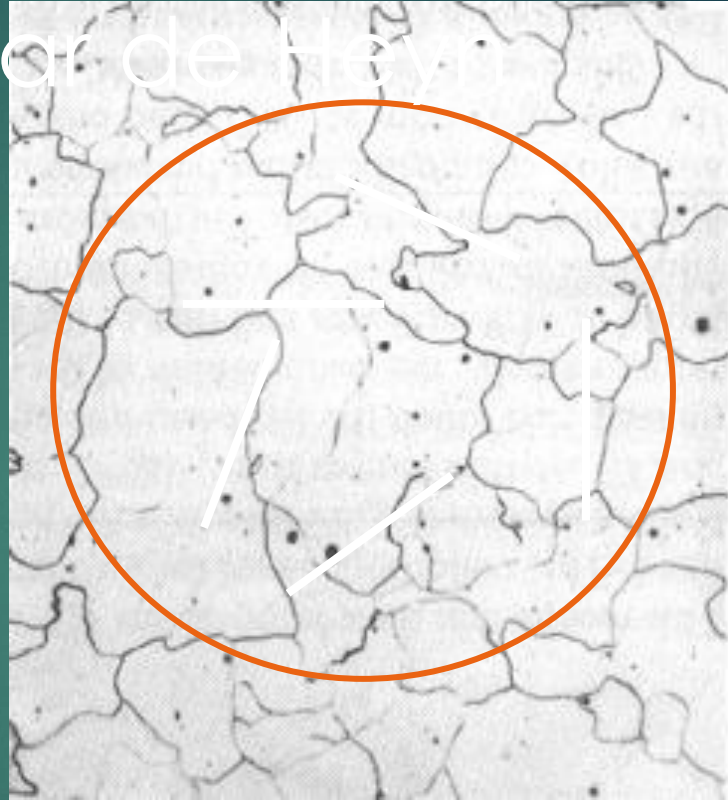
Diâmetro médio dos grãos

Tamanho do grão: Método da interceptação linear de Heyn

- Neste método efetua-se a contagem do número de contornos de grão interceptados pelas linhas-teste de comprimento conhecido.
- O diâmetro (tamanho do grão - **D**) é calculado pela seguinte relação:

$$D = 1/N_L$$

Tamanho do grão: Método da intercepção linear de Weibull



$$N_L = \frac{(\text{número de interseções}) \times (\text{aumento})}{\text{comprimento da linha teste}}$$

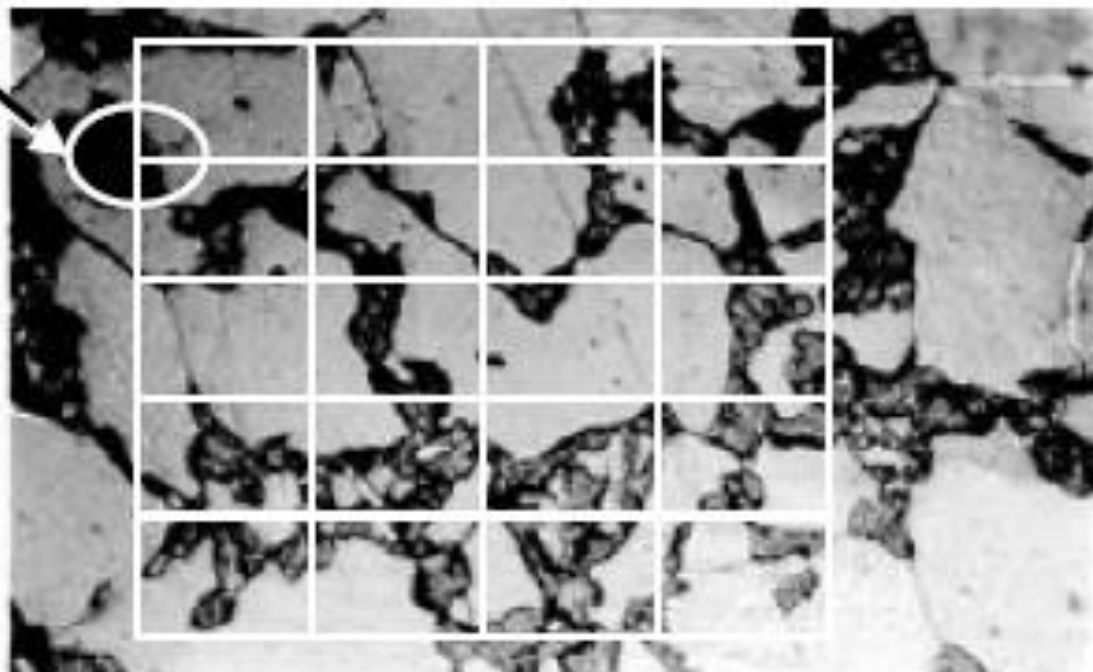
MEDIDA DA PROPORÇÃO DE FASE

A metodologia convencional para determinação de percentual de fase consiste em usar um reticulado quadriculado com 25 interseções.

Em geral um papel transparente com o reticulado é sobreposto à fotografia.

MEDIDA DA PROPORÇÃO DE FASE

Intercepto



MEDIDA DA PROPORÇÃO DE FASE

São avaliadas três possíveis situações:

O intercepto está totalmente sobre uma fase (+1)

O intercepto não está sobre uma fase (+0)

O intercepto está parcialmente sobre a fase (+0,5)

MEDIDA DA PROPORÇÃO DE FASE

São avaliadas três possíveis situações:

(1) O intercepto está totalmente sobre uma fase (+1)

(2) O intercepto não está sobre uma fase (+0)

(3) O intercepto está parcialmente sobre a fase (+0,5)

N_T : no total de pontos da malha

N_i : no total de pontos da malha que estão contidos na fase i

A fração em área de uma fase i

$$f_i = \frac{N_i}{N_T}$$