

TM 110 – Materiais I

Ana Sofia C. M. d'Oliveira

➤ Ementa:

- Revisão mecanismos de endurecimento
- Revisão diagramas de fase binários
- Ligas de Al e seus TT
- Ligas de Co e de Ni
- Diagrama Fe-C
- Curvas TTT/TRC
- Efeito dos elementos de liga nos aços
- Tratamento térmico dos aços
- Ferros fundidos
- Aços inoxidáveis

METODOLOGIA

- Aulas teóricas
 - Avaliação : 2 provas
- Aulas práticas
 - Avaliação: relatórios
- Exercícios
 - 2 exercícios

Avaliações:

Abril :

23/04 – Exercício 1

25/04 – Prova 1

Junho:

18/06 – Exercício 2

20/06 – Prova 2

$$\text{Média} = (P1 + P2 + Ex1 + Ex2 + Rel) / 5$$

Relembrando...

Porque estudar materiais?

**Compreender e otimizar o comportamento de
componentes mecânicos**

Mecanismos de endurecimento

❖ Mecanismos de endurecimento

O que são mecanismos de endurecimento?

- Obstáculos a movimentação das discordâncias que provocam um aumento da resistência mecânica do metal

Quatro mecanismos de endurecimento:

- Solução sólida
- Precipitação/Partículas de segunda fase
- Refino de grão
- Encruamento

❖ Mecanismos de endurecimento

Solução sólida

Átomos de soluto ocupam lugares da rede cristalina de um dado metal;

Estes átomos provocam distorção na rede; para minimizar a energia do material procuram lugares onde se acomodam mais facilmente => junto a discordâncias....

Dificuldade de movimentar discordâncias



Aumento da resistência do material

❖ Mecanismos de endurecimento

Solução sólida

Efeito da dimensão do átomo de soluto

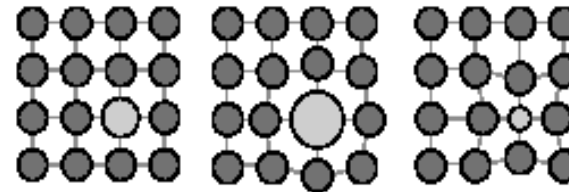


Figure 6. Effect of solute size.

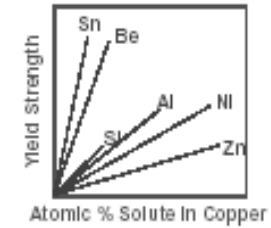


Figure 7. Effect on strength of common alloying elements.

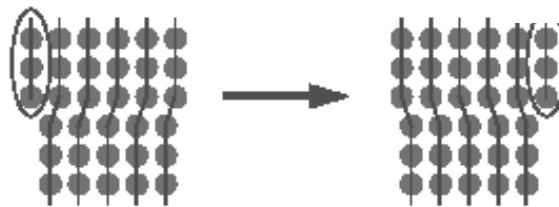


Figure 1. Dislocation free to move.

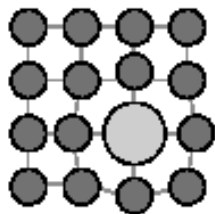


Figure 2. Substitutional solution.

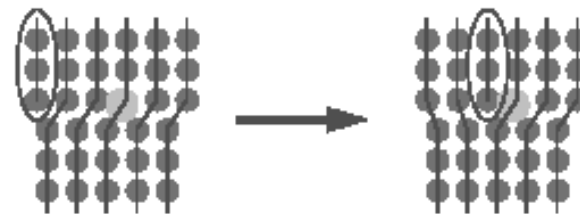


Figure 3. Dislocation stopped by substitutional atom.

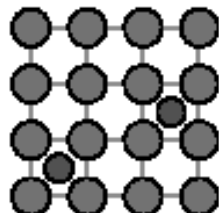


Figure 4. Interstitial solution.



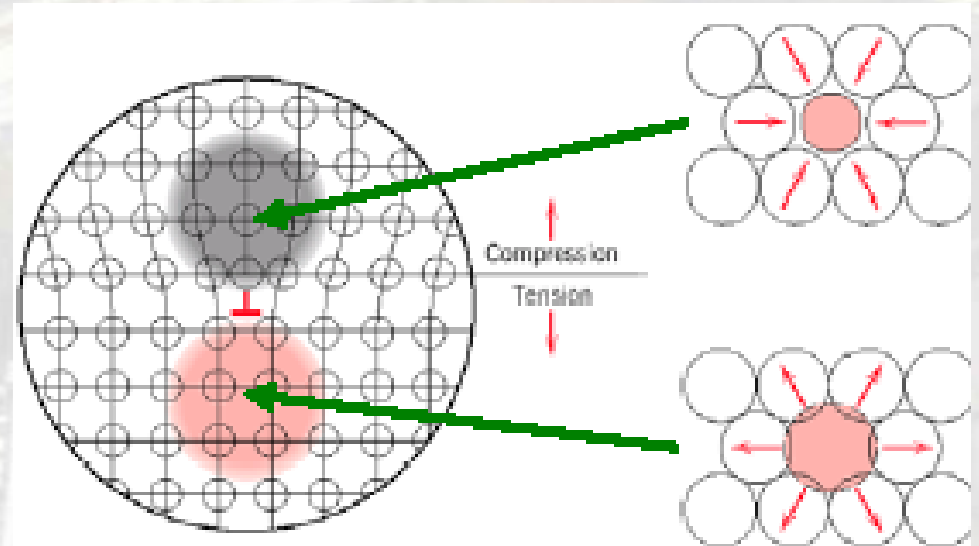
Figure 5. Dislocation stopped by an interstitial atom.

Interação do átomo de soluto com as discordâncias

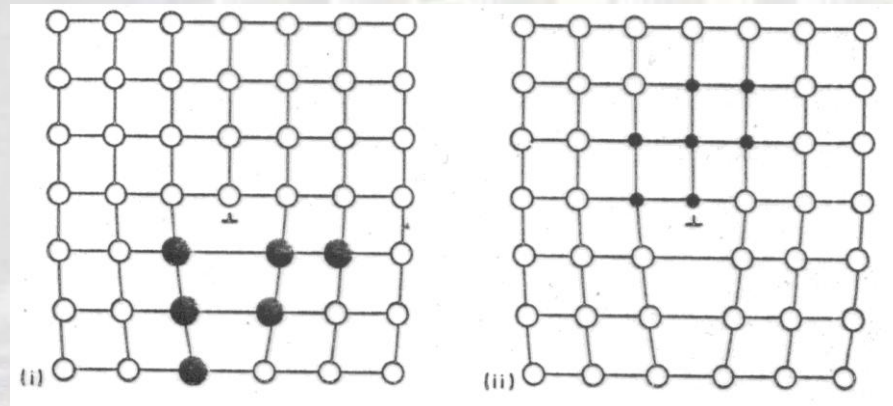
❖ Mecanismos de endurecimento

Solução sólida

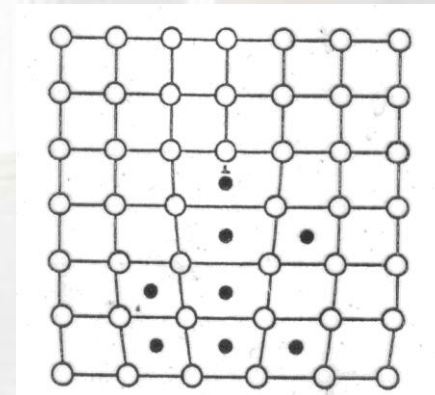
Acomodação dos átomos de soluto e Interação com as discordâncias



SS substitucional



SS intersticial



❖ Mecanismos de endurecimento

Precipitação/Dispersão de partículas de segunda fase

O material exibe uma segunda fase, isto região com composição e características distintas, dispersa na matriz.

Provocarem distorção na rede;

As discordâncias vão ter dificuldade em se movimentar através destas partículas (ex: carbonetos)

Dificuldade de movimentar discordâncias



Aumento da resistência do material

❖ Mecanismos de endurecimento

Precipitação/Dispersão de partículas de segunda fase

Precipitação

Dependência do tipo de precipitado

Aumenta resistência

Diminuiu resistência

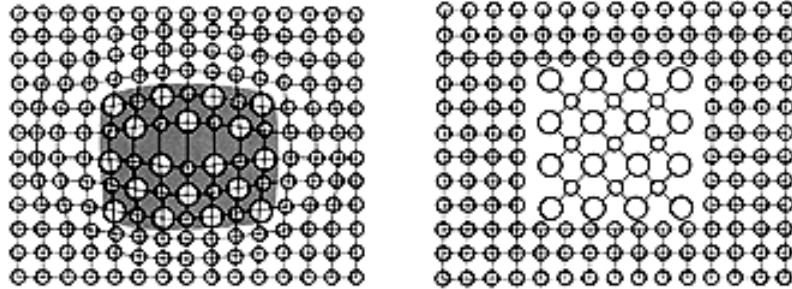
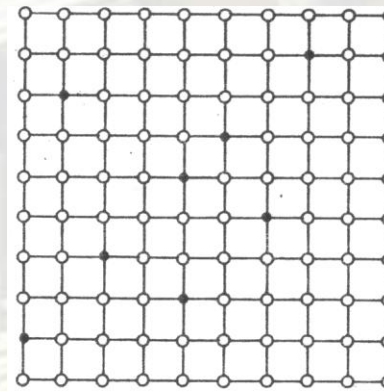
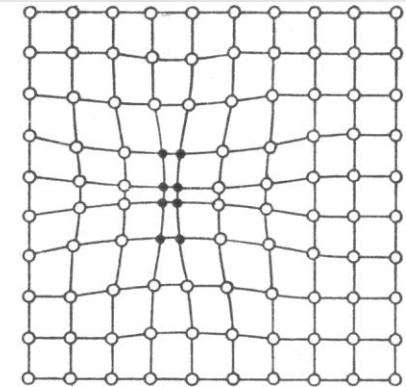


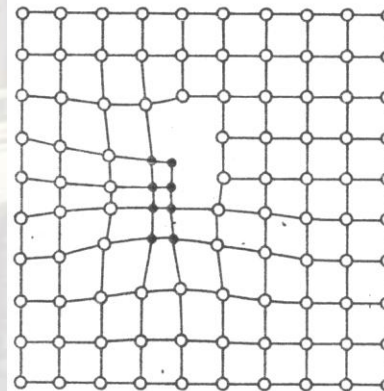
Fig. 2 - A - Lattice distortion due to the presence of a coherent precipitate; B - noncoherent precipitates produce no lattice distortion.



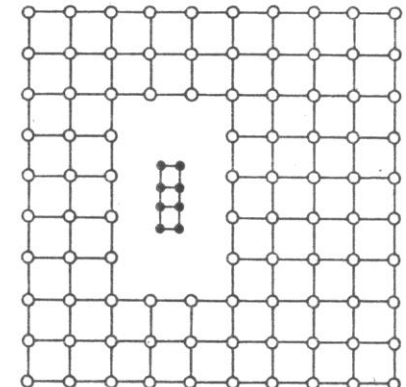
(i) Solução sólida supersaturada.



(ii) Forma-se o precipitado coerente. . .



(iii) . . . e começa a se separar como . . .



(iv) . . . um precipitado não coerente.

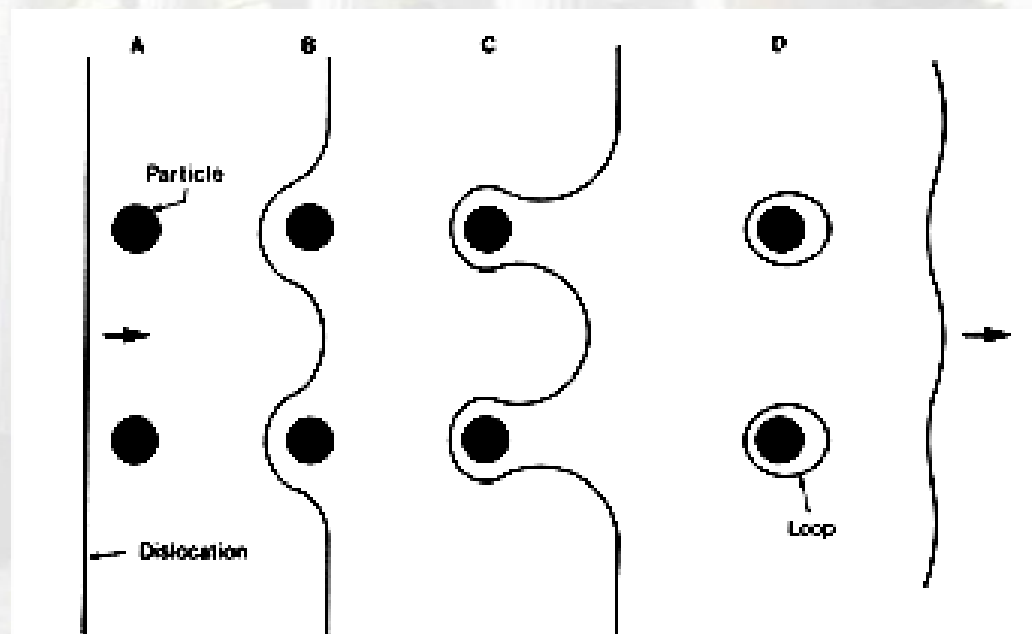
❖ Mecanismos de endurecimento

Precipitação/Dispersão de partículas de segunda fase

Dispersão

Introdução de finas partículas de óxidos em uma matriz (moagem de alta energia)

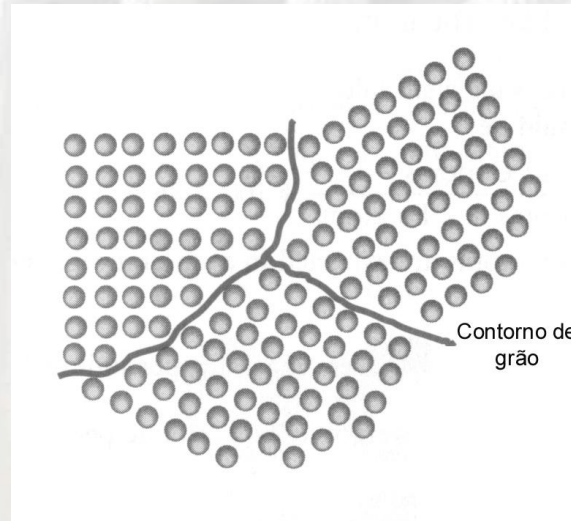
Interação partículas-discordâncias



❖ Mecanismos de endurecimento

Contornos de grão

Regiões que apresentam distorção na rede atrapalhando a movimentação das discordâncias



Dificuldade de movimentar discordâncias

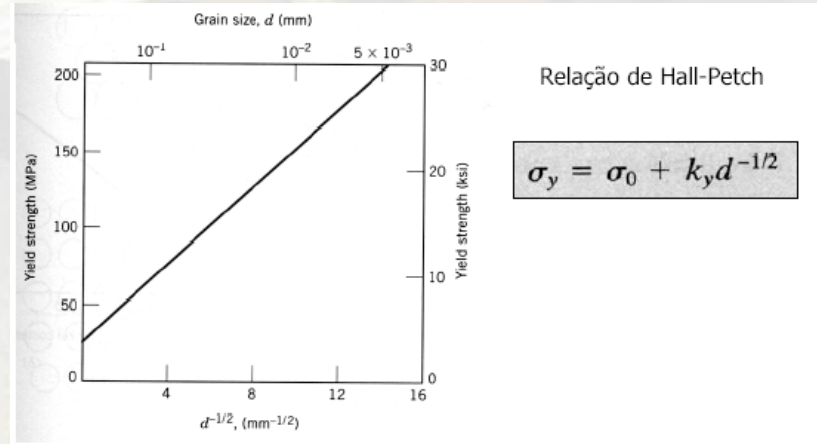
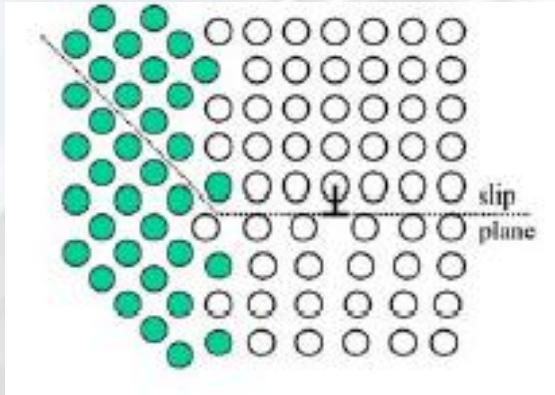


Aumento da resistência do material

❖ Mecanismos de endurecimento

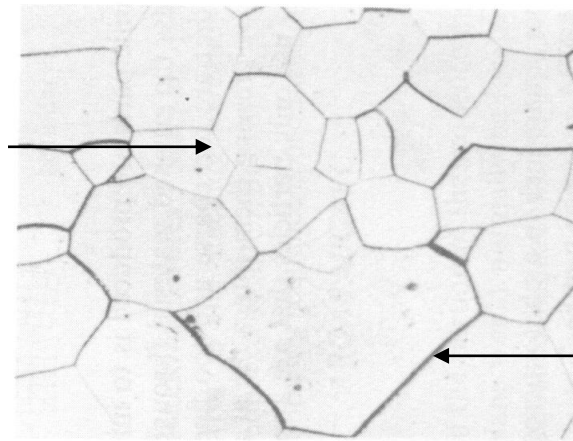
Contornos de grão

Grão refinado => maior resistência



Efeito do tipo de contorno de grão

Contorno de grão de baixo angulo



Contorno de grão de alto angulo

❖ Mecanismos de endurecimento

Encruamento

A multiplicação do número de discordâncias durante a deformação de um metal reduz o caminho livre entre discordâncias, isto é, sua movimentação é reduzida

Dificuldade de movimentar discordâncias

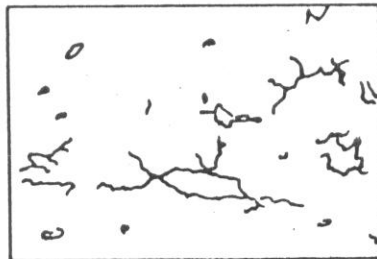


Aumento da resistência do material

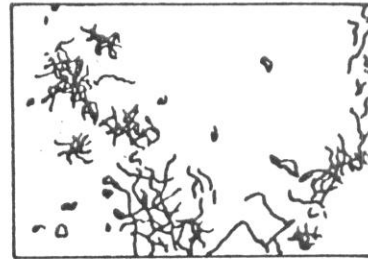
❖ Mecanismos de endurecimento

Aumento da resistência mecânica

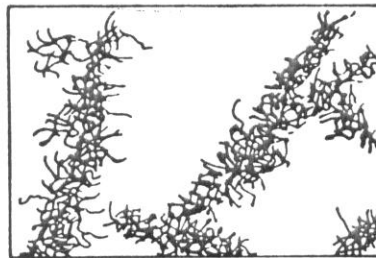
Multiplicação de discordâncias



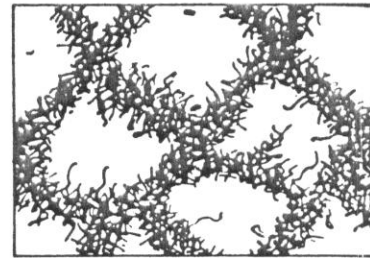
Trabalhado a frio 1%



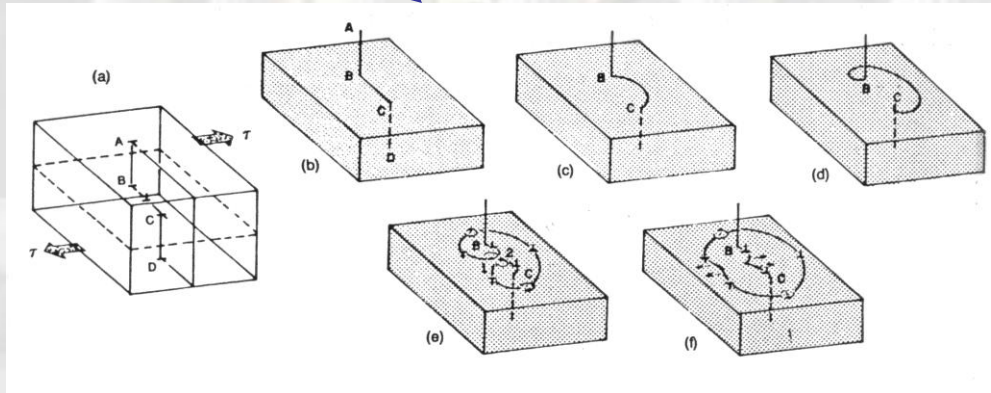
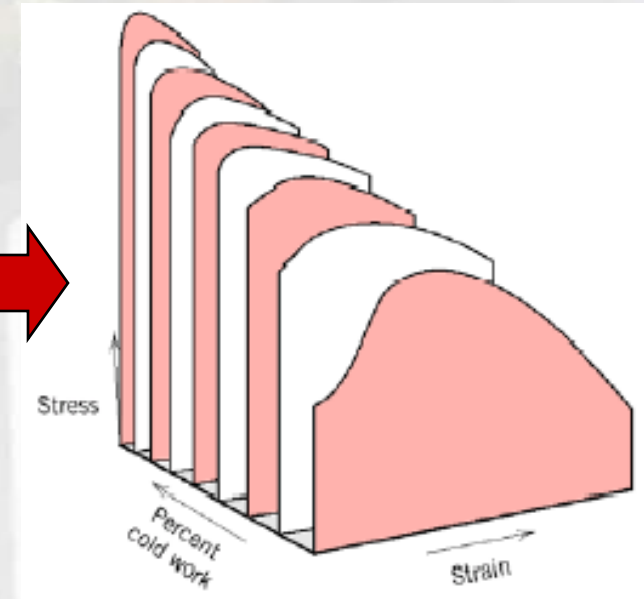
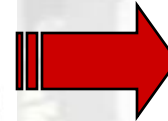
Trabalhado a frio 3%



Trabalhado a frio 10%



Trabalhado a frio 20%



❖ Mecanismos de endurecimento

- Esquematizar curvas tensão-deformação:
 1. Latão vs Cu puro
 2. Latão encruado vs Latão recristalizado
 3. Al puro vs Liga Al encruada vs liga de Al

- Quais destes mecanismos permanecem ativos a temperaturas elevadas?