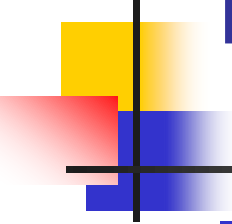




PLASTICIDADE



Deformação Plástica

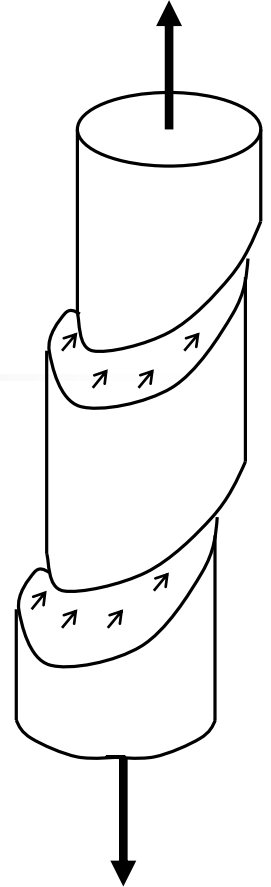
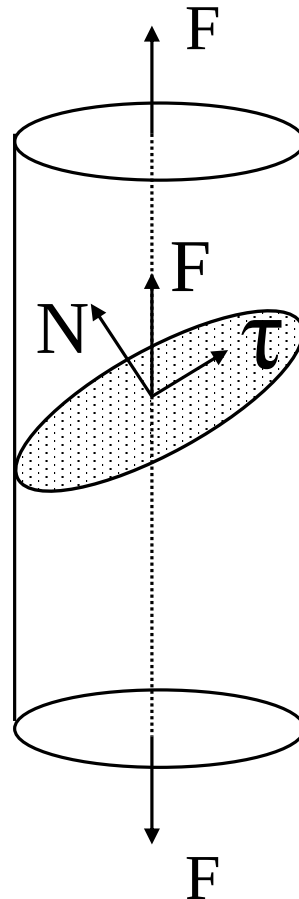
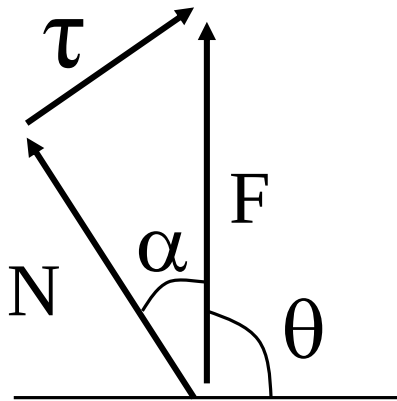
- Alteração permanente da posição dos átomos ou moléculas (ou seus grupos) na microestrutura - **ESCORREGAMENTO**
- Materiais cristalinos: escorregamentos segundo os planos cristalográficos
- Materiais amorfos: escorregamentos de moléculas (distribuídos aleatoriamente pelo material)



Microplasticidade Do Cristal

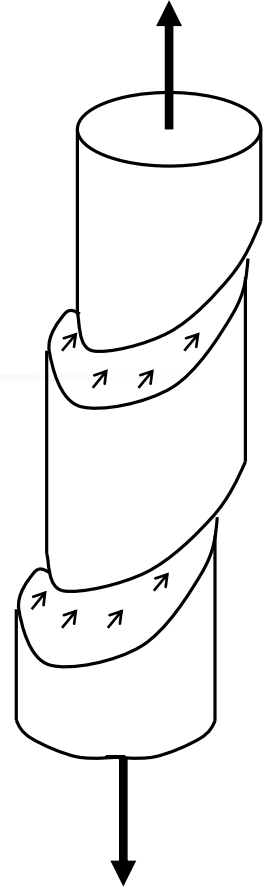
- Deformação plástica:
 - escorregamento devido a esforços cortantes: mais comum
 - geminação

Tensão crítica de cisalhamento: escorregamento



Tensão crítica de cisalhamento: escorregamento

- Deslocamento relativo de parte do cristal em relação à outra segundo planos cristalográficos
- Os planos de escorregamento são, em geral, os planos mais densamente empacotados, pois têm maior espaçamento entre si





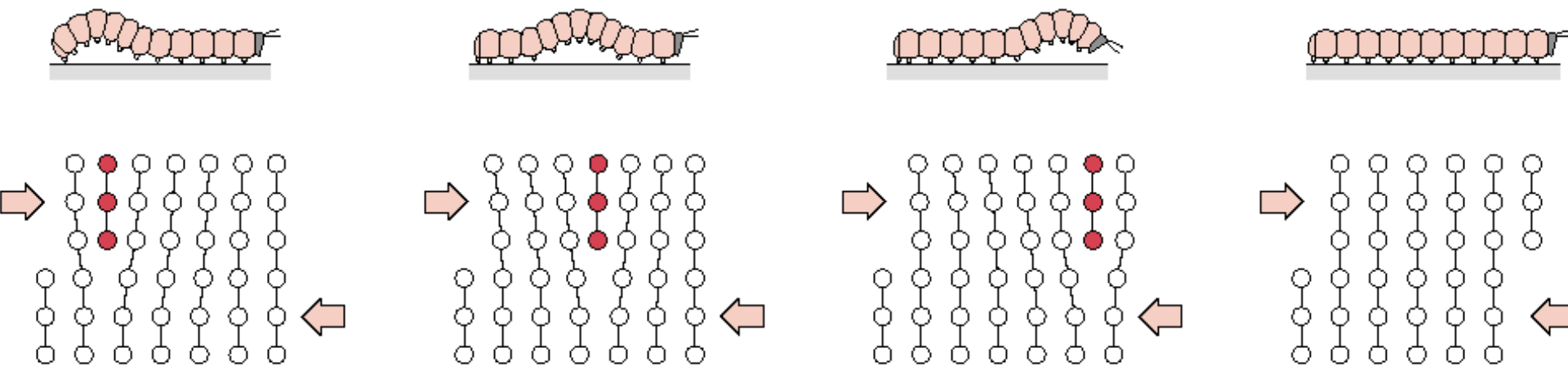
Escorregamento de planos cristalinos

- Ocorrem de maneira progressiva pela movimentação de discordâncias
- Menor gasto de energia do que na movimentação do plano cristalino como um todo
- Movimento de lagarta ou
- Escorregamento de dobra de tapete

Movimento da lagarta

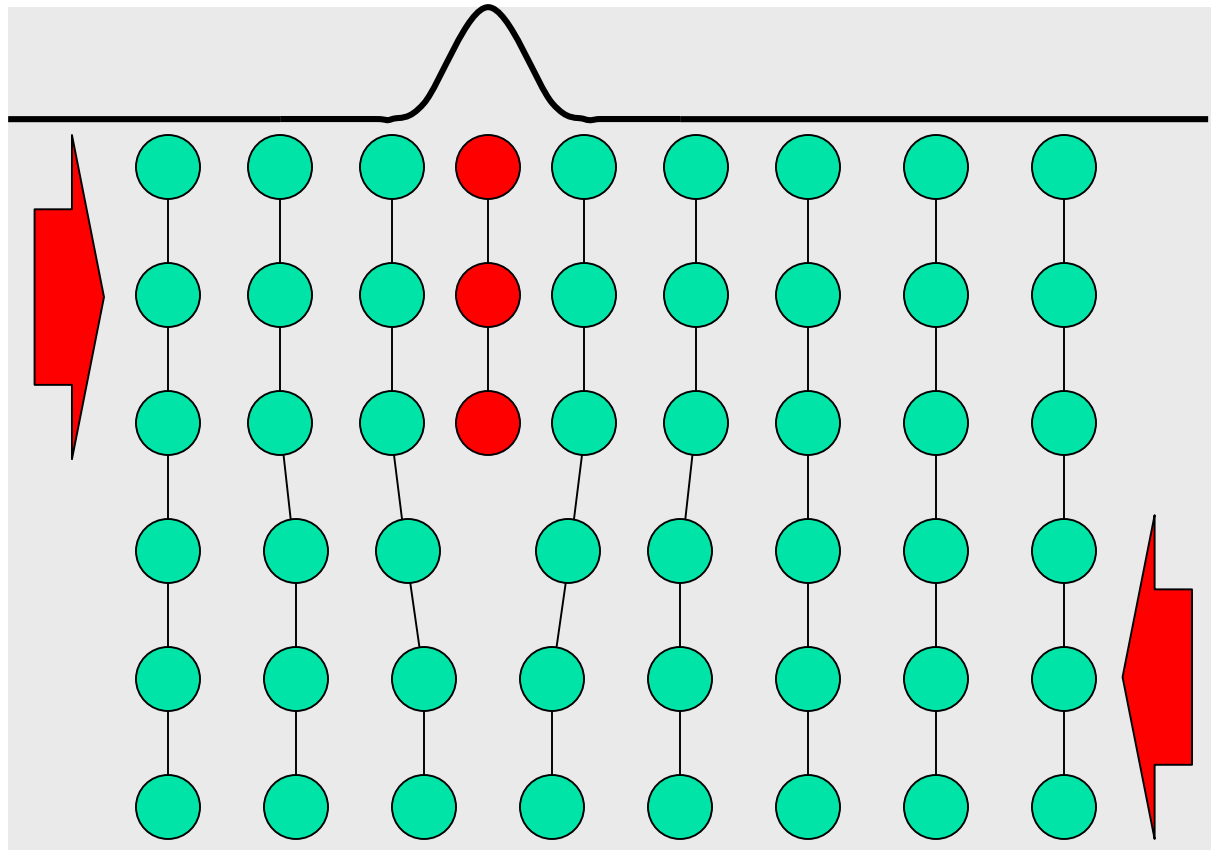


Movimento da lagarta

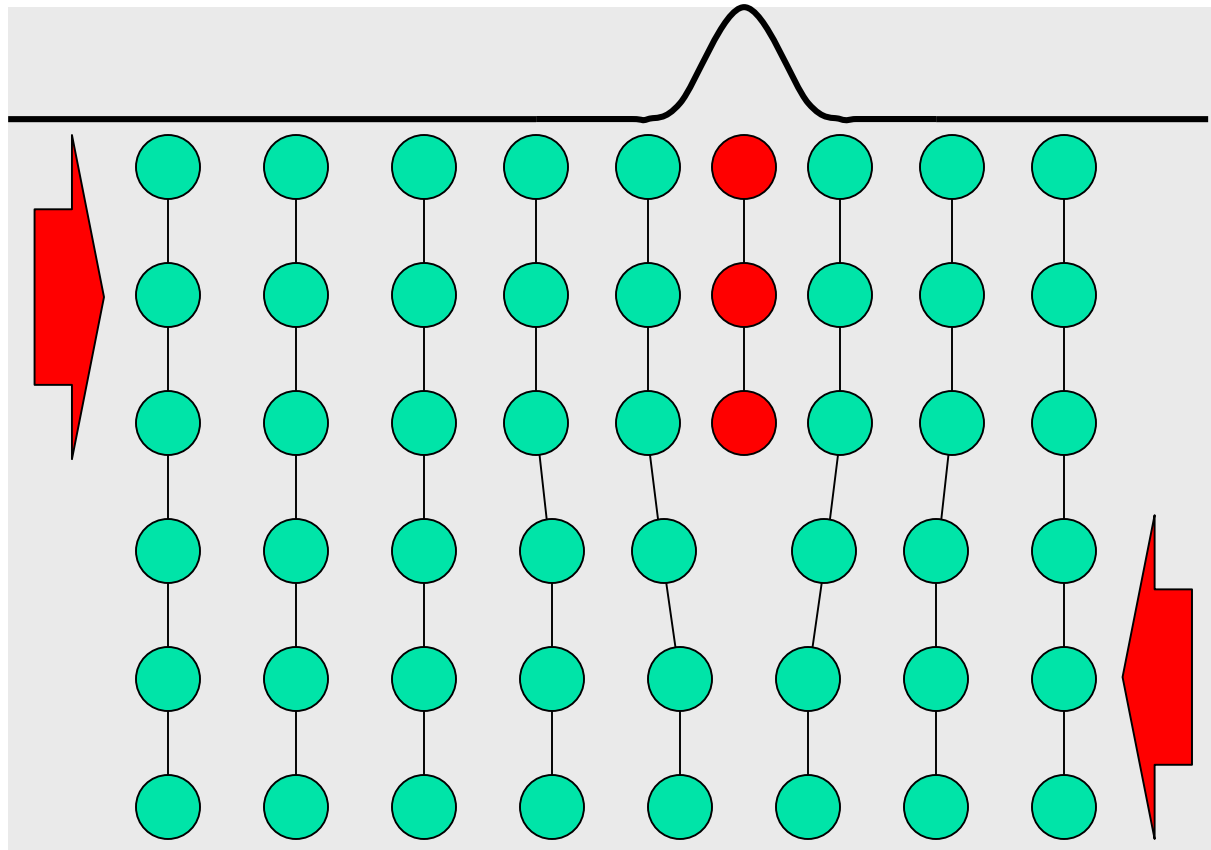


A lagarta quando se desloca concentra a tensão em um único ponto do corpo.

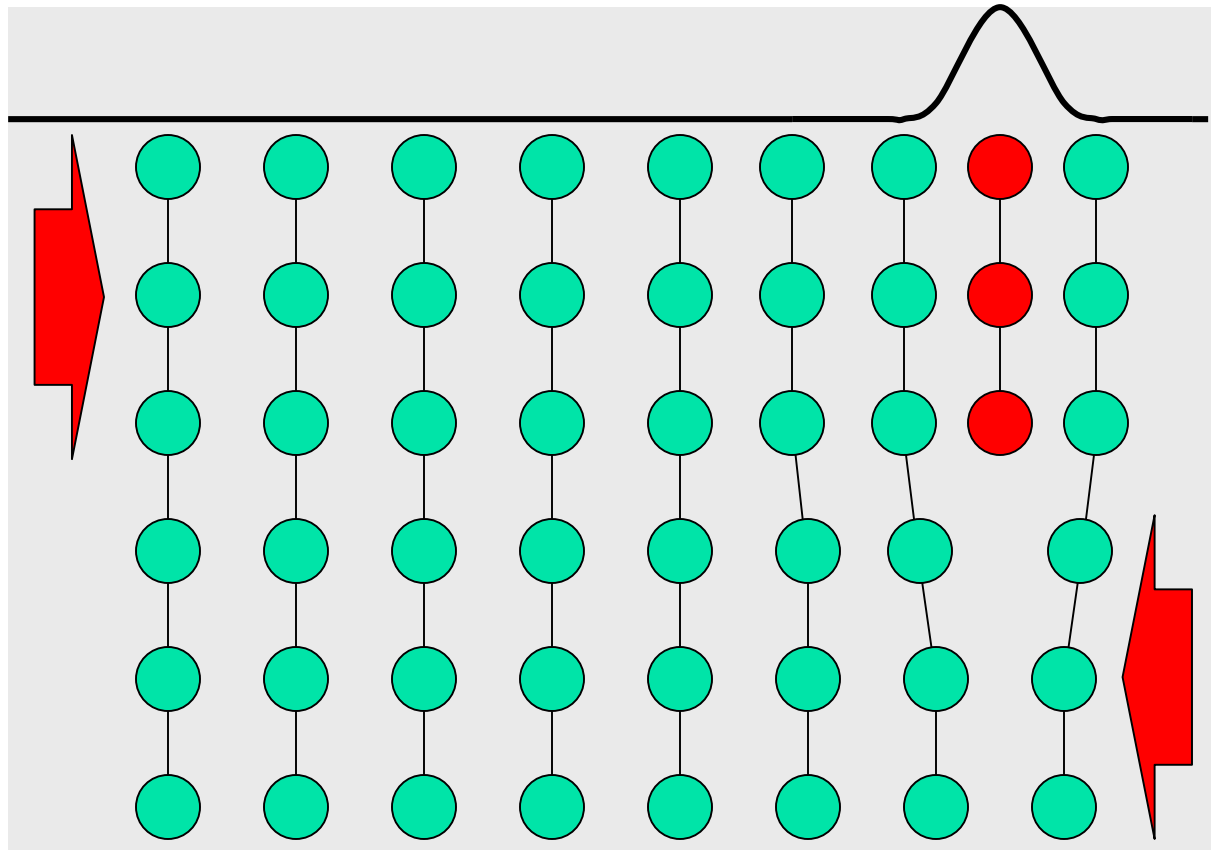
Movimento de discordância → deformação plástica



Movimento de discordância → deformação plástica

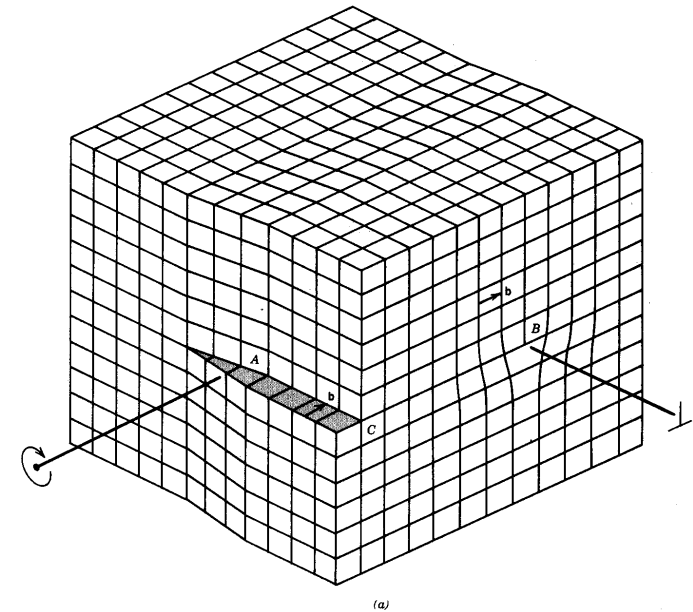
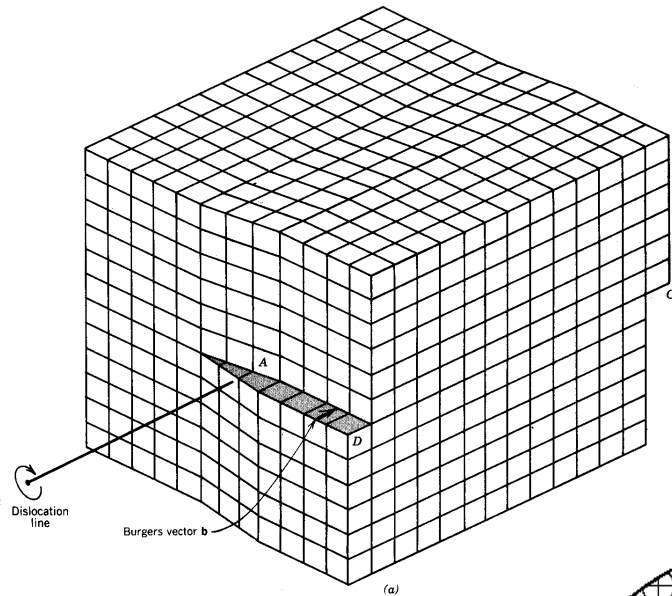


Movimento de discordância → deformação plástica

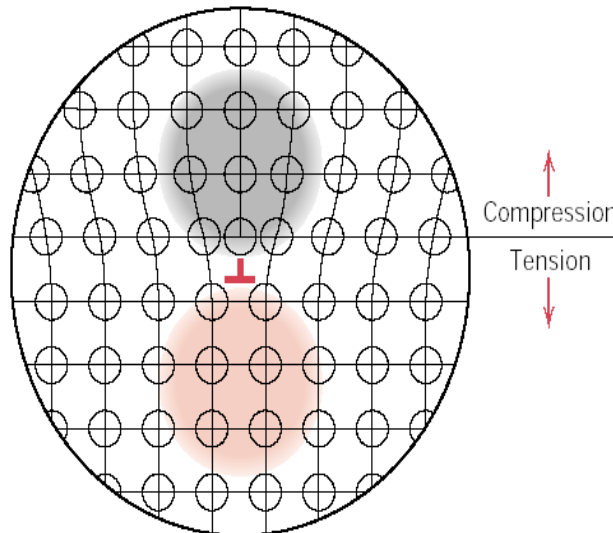


Discordância em hélice

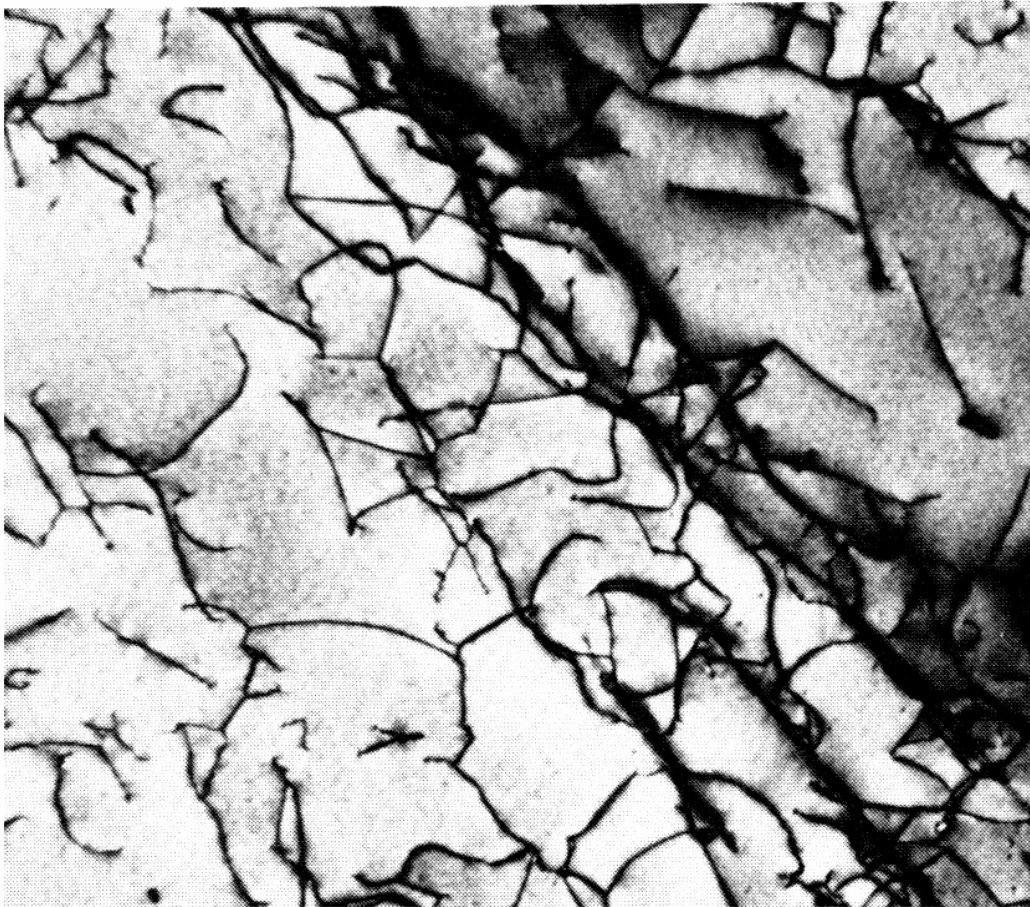
Discordância em mista



Estão associadas a
concentrações de
tensão no cristal



Observação de discordâncias em MET



**Micrografia em liga de Ti.
As linhas escuras são
discordâncias mistas.
51.450x**

Movimento de discordância



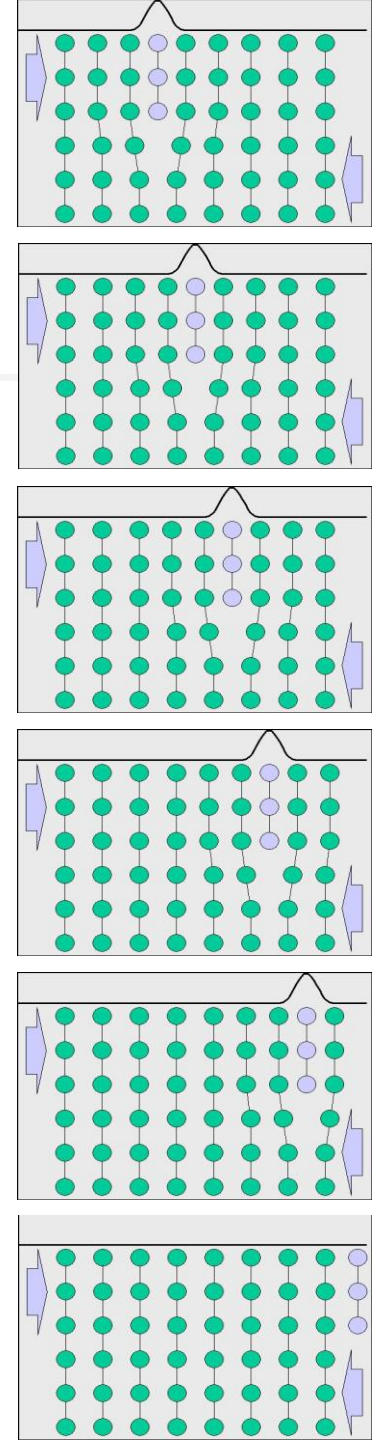
Resistência teórica > resistência medida

- 
- Existência dos defeitos
 - Ocorrência de deslocamentos
 - A força necessária para mover um deslocamento é muito menor do que a do plano cristalográfico como um todo
 - Por outro lado os deslocamentos proporcionam ductilidade

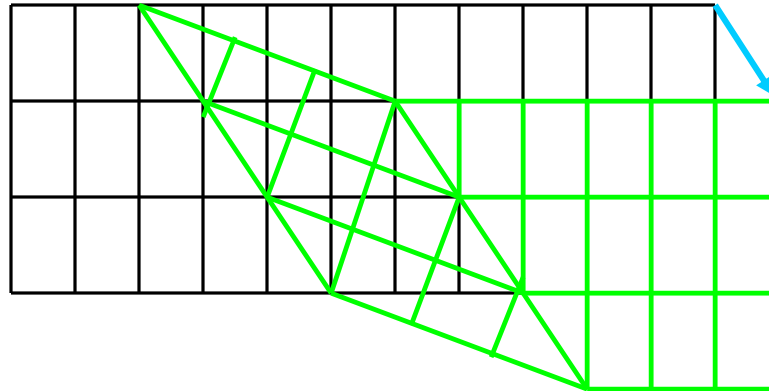
Deformação plástica dos metais

Maneiras de diminuir a deformação plástica (bloqueio de movimento de discordâncias):

- **Encruamento (pré-indução de uma deformação plástica) e/ou**
- **Inserção de elementos de liga (substituição ou solução)**
- **Diminuição do tamanho dos grãos (bloqueio para movimentação das discordâncias)**

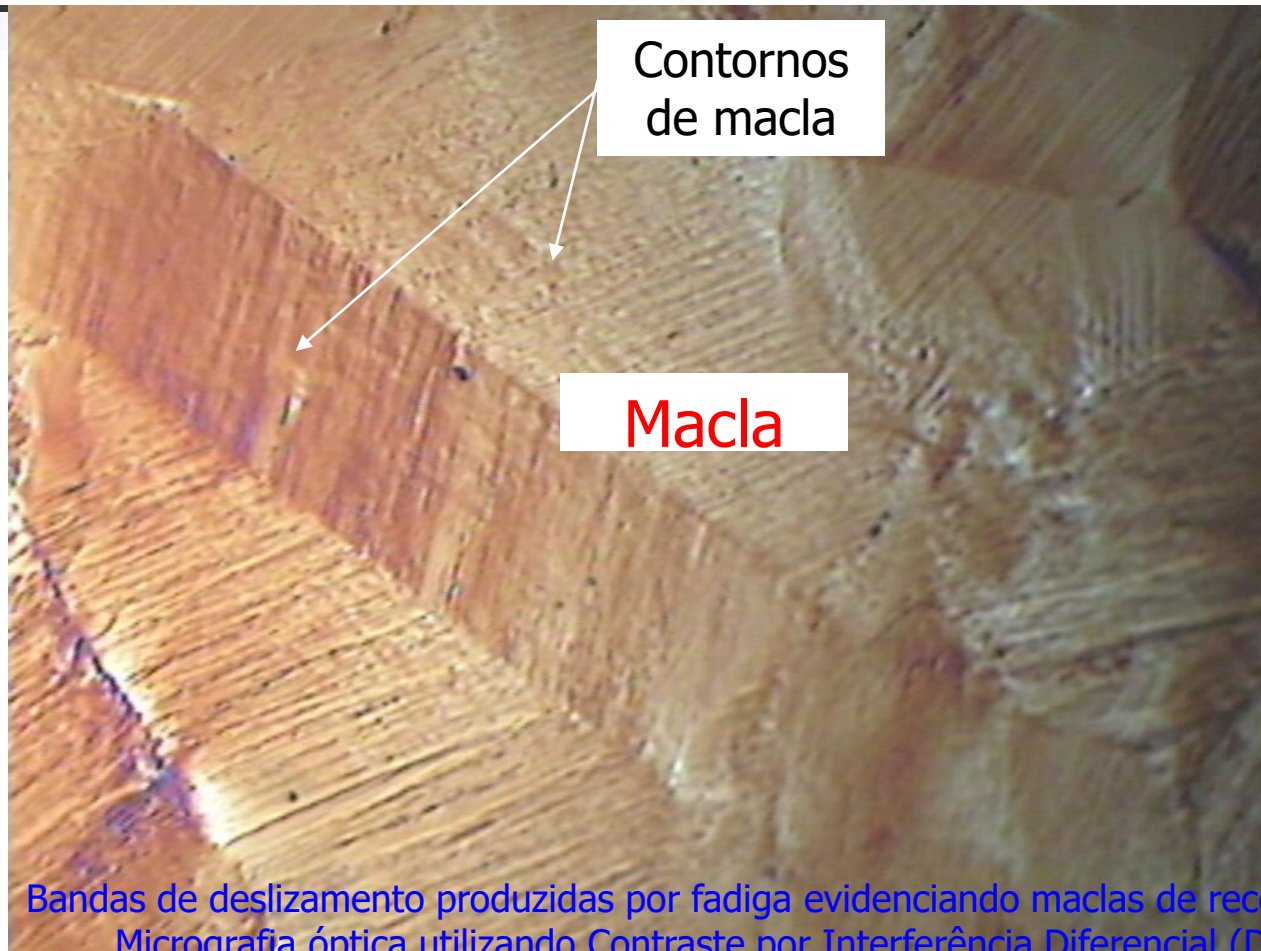


Geminação ou maclagem



Outra possibilidade de produção de deformação em metais cristalinos sem escorregamento de discordâncias.

Maclagem



Bandas de deslizamento produzidas por fadiga evidenciando maclas de recozimento.
Micrografia óptica utilizando Contraste por Interferência Diferencial (DIC).
Amostra de aço inoxidável austenítico AISI 304L, sem ataque químico.
Aumento original: 500X.

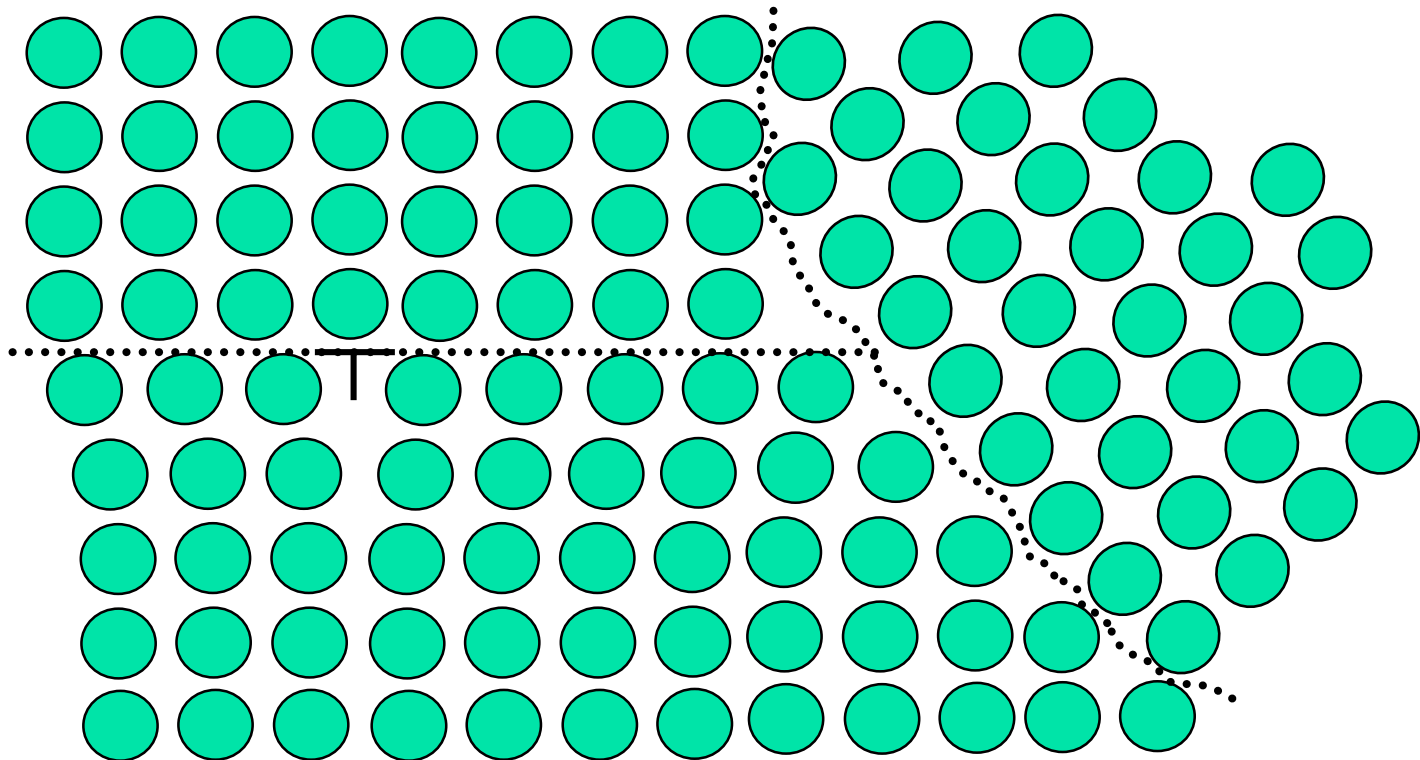
Plasticidade em materiais policristalinos



- Possível (em princípio) deduzir o comportamento dos cristais isolados
- Contornos dos grãos alteram o comportamento do material
- Cada grão é forçado a compatibilizar sua deformação com o vizinho
- Grãos maiores possibilitam maiores deslocamentos

Plasticidade em materiais policristalinos

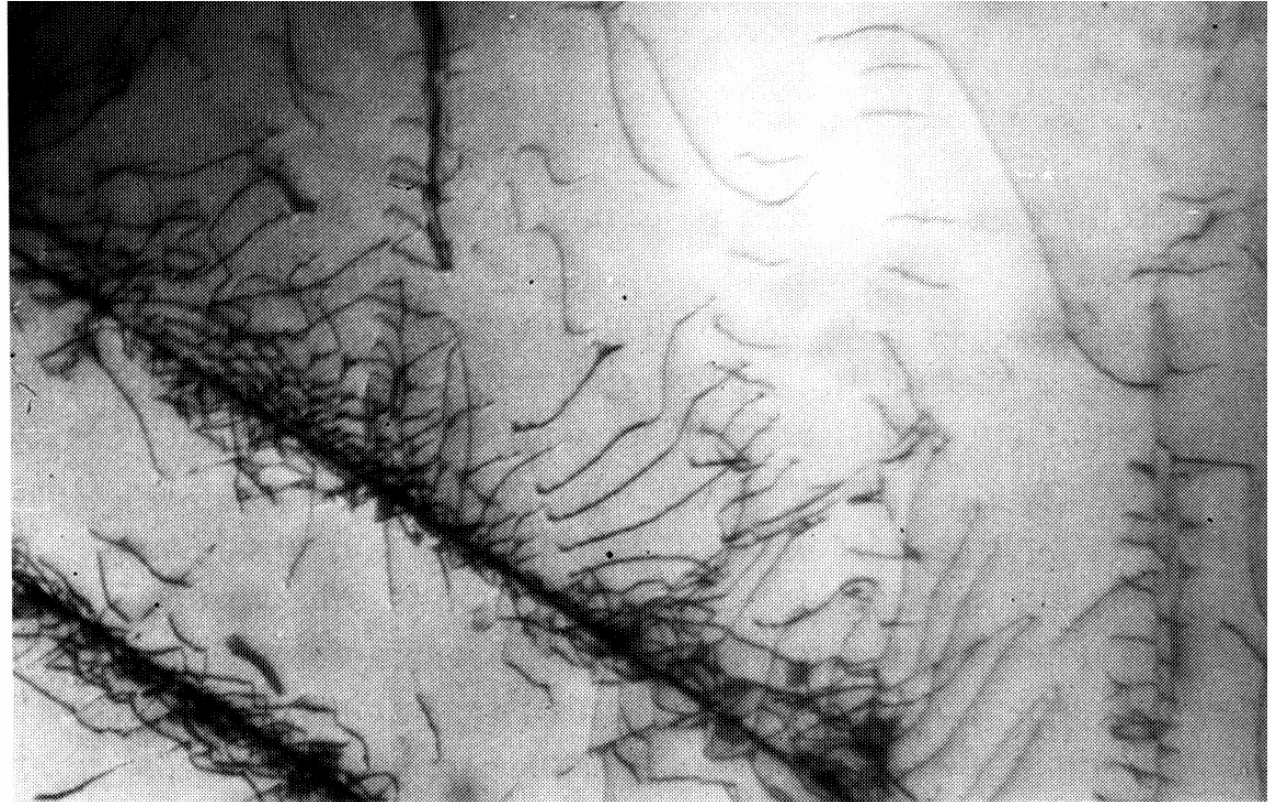
- Contornos agem como barreiras à progressão dos deslocamentos



Observação de discordâncias em MET

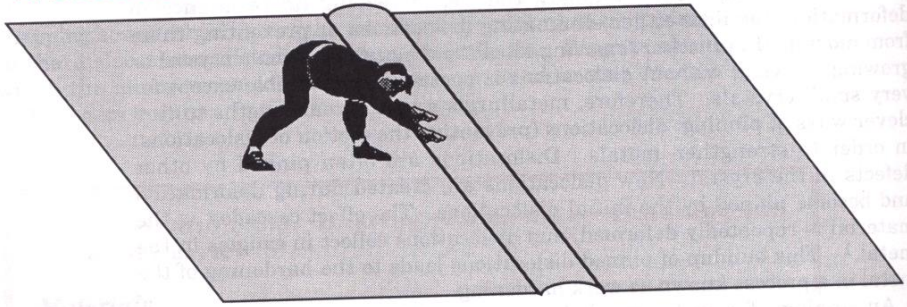


Concentração de discordâncias em região adjacente a um contorno de grão. 60.000x



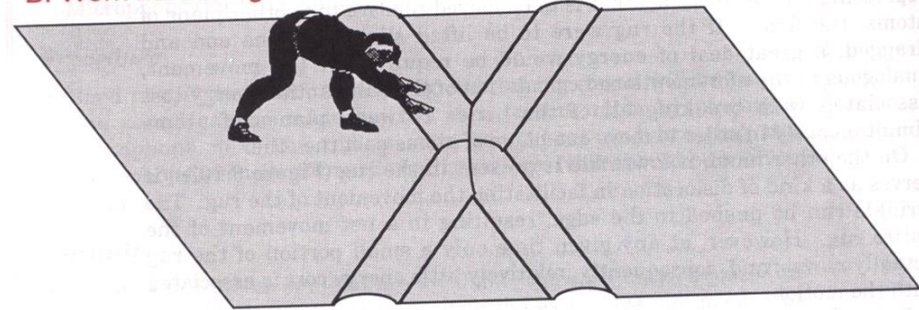
Interação do movimento de discordâncias: analogia com o movimento do tapete

A. Dislocation



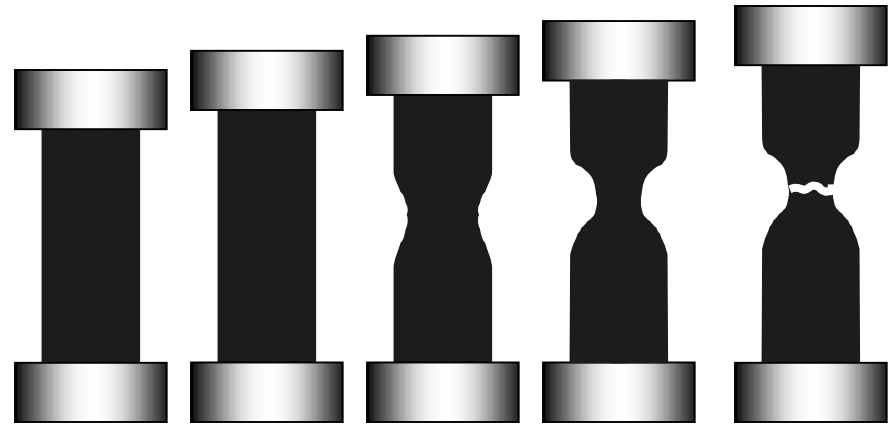
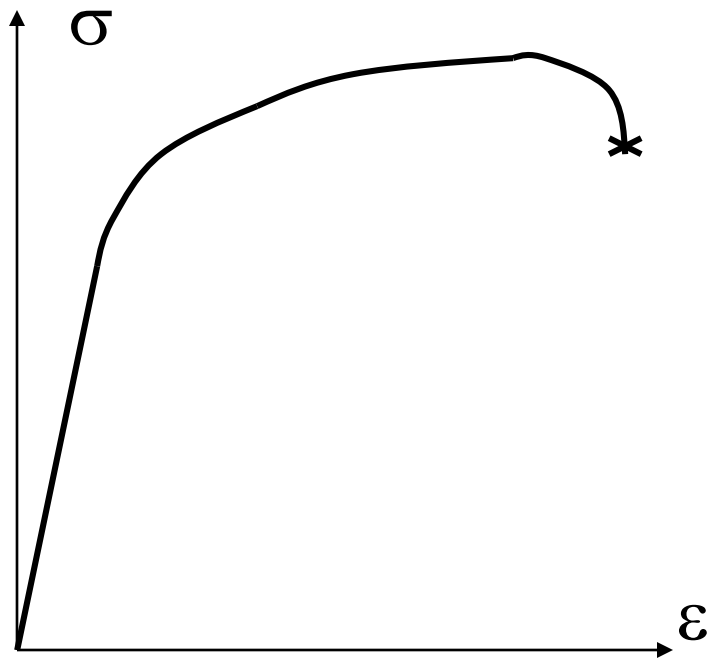
Patamar de escoamento com liberdade de movimento da dobra

B. Work hardening



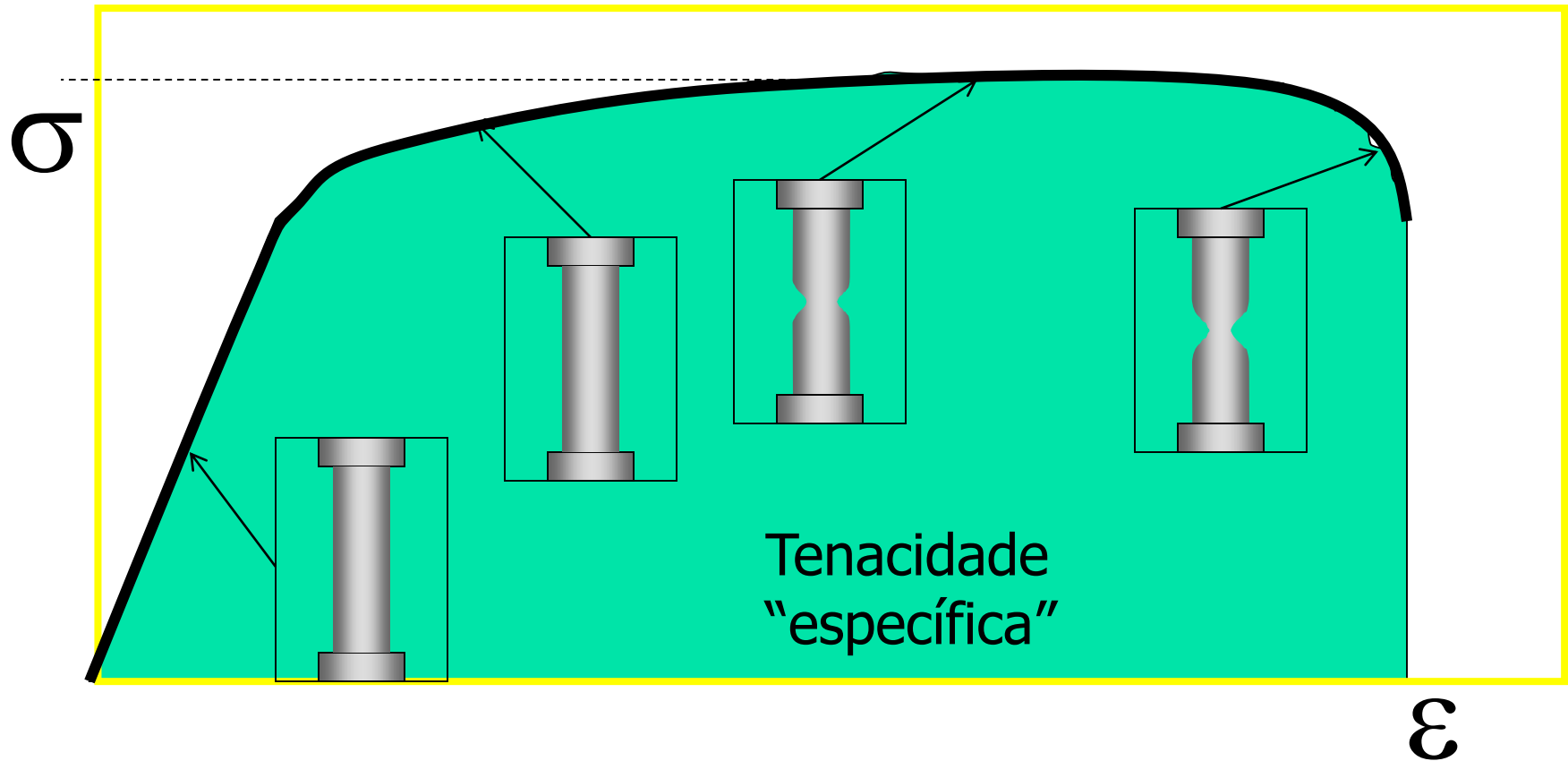
Encruamento obtido com a interação progressiva das discordâncias : a tensão deve aumentar para gerar deslocamento

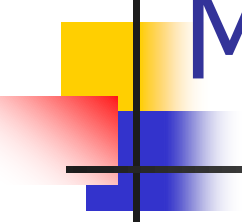
Comportamento mecânico dos metais



Material elasto-plástico

Dinâmica das deformações plásticas





Material cristalino deformado

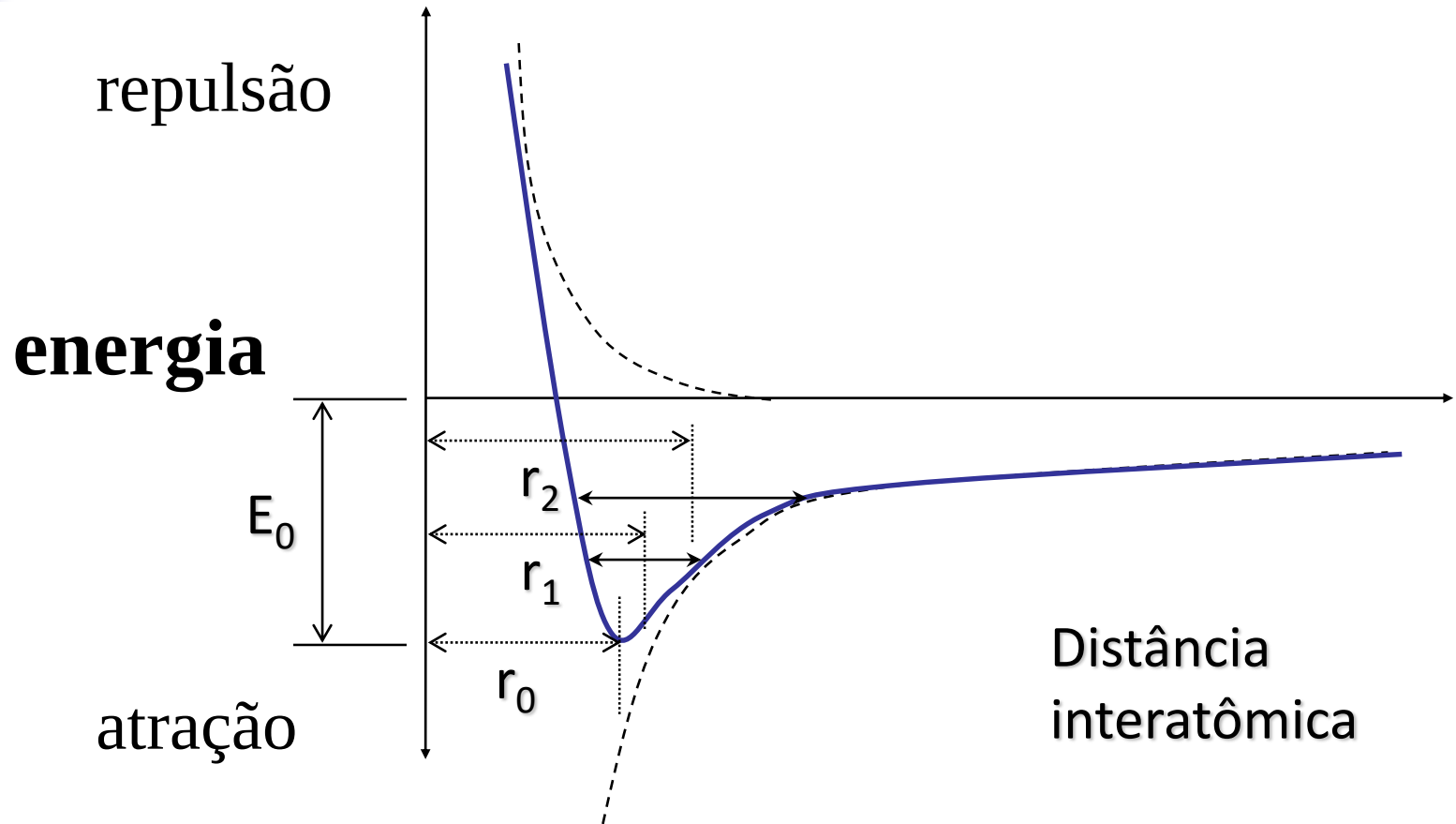
- Deformações plásticas dificultam outras novas $\Rightarrow$ material mais resistente e frágil



Deformação plástica em materiais policristalinos

- É função de:
 - Tempo e velocidade de aplicação da carga (próximas aulas)
 - Temperatura
 - Tratamentos (encruamento, inserção de elemento de liga).

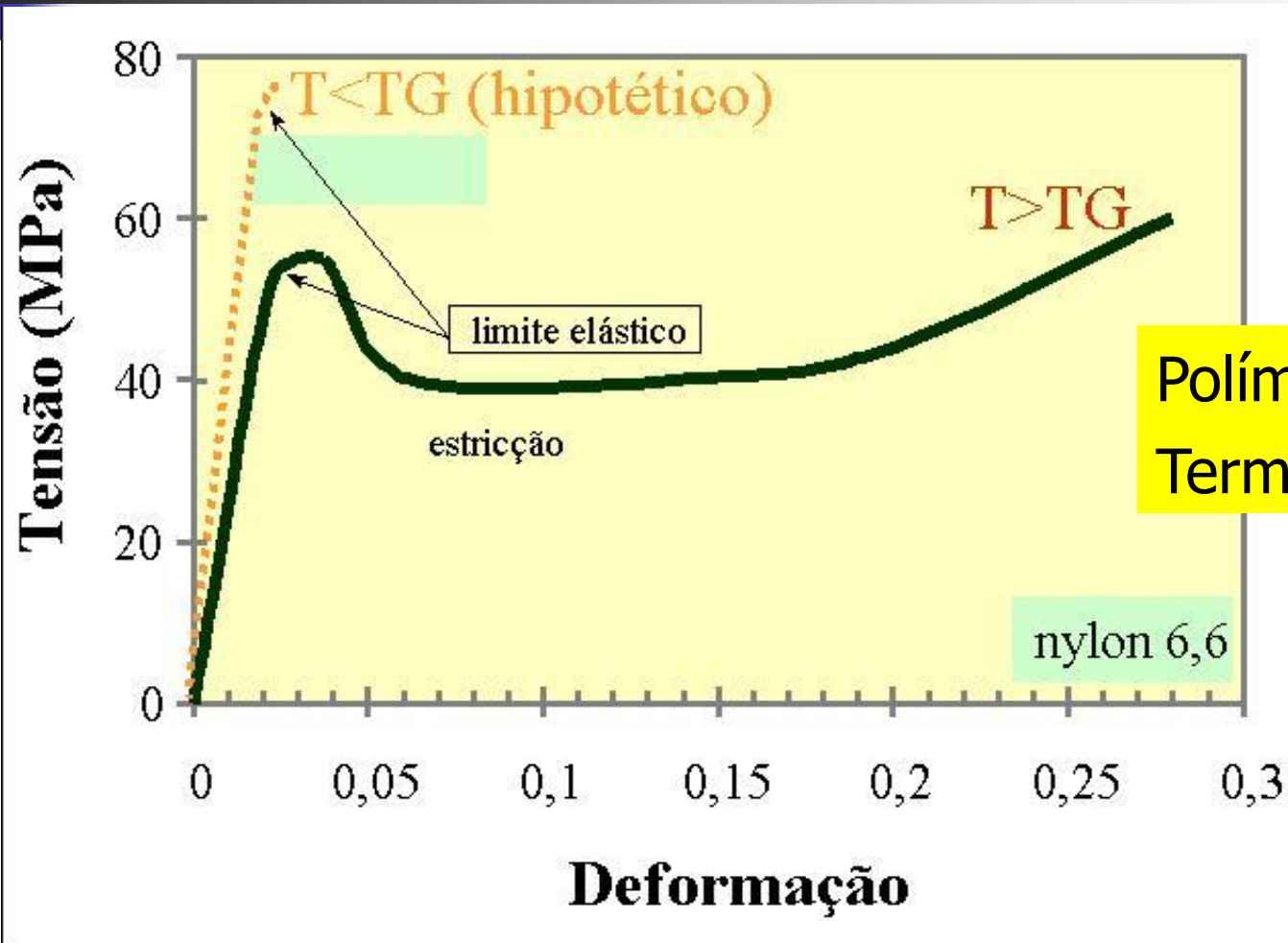
Por que a temperatura afeta a deformação plástica?



Influência da temperatura

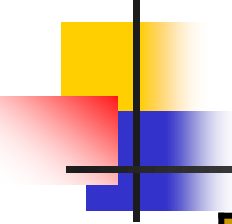


Influência da temperatura



Polímero
Termoplástico

nylon 6,6

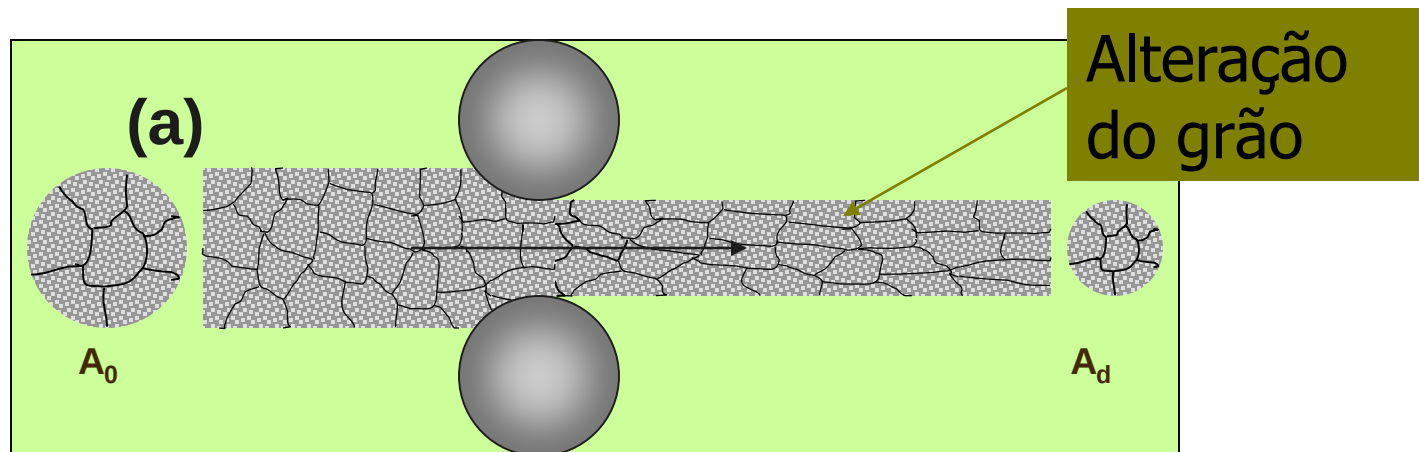


Temperatura de transição vítrea

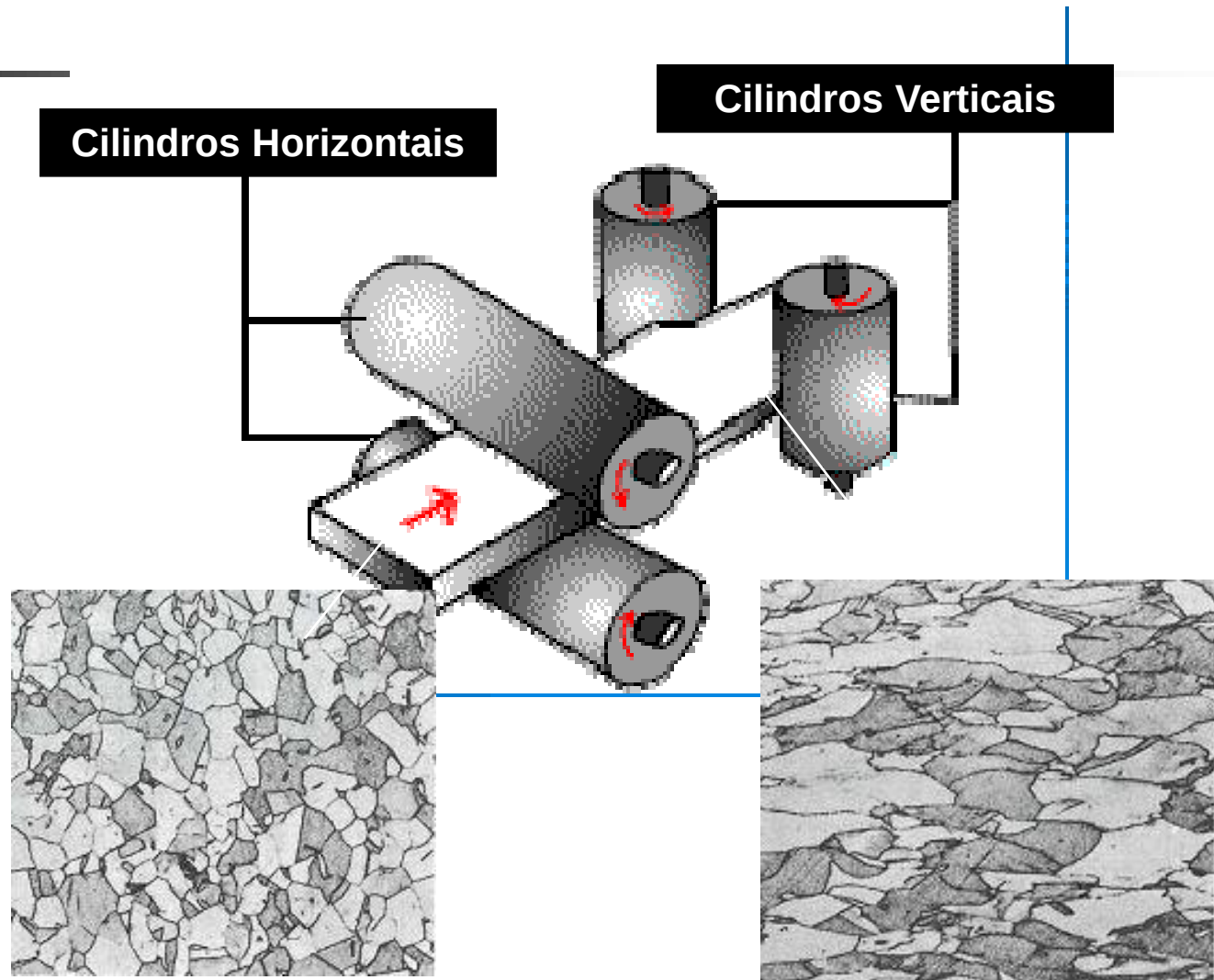
Material	Tv (°C)
Polietileno de baixa densidade	-110
Polietileno de alta densidade	-90
Polipropileno	-18
Náilon 6,6	57
PVC	87
Poliestireno	100

Porcentual de trabalho a frio (%TF)

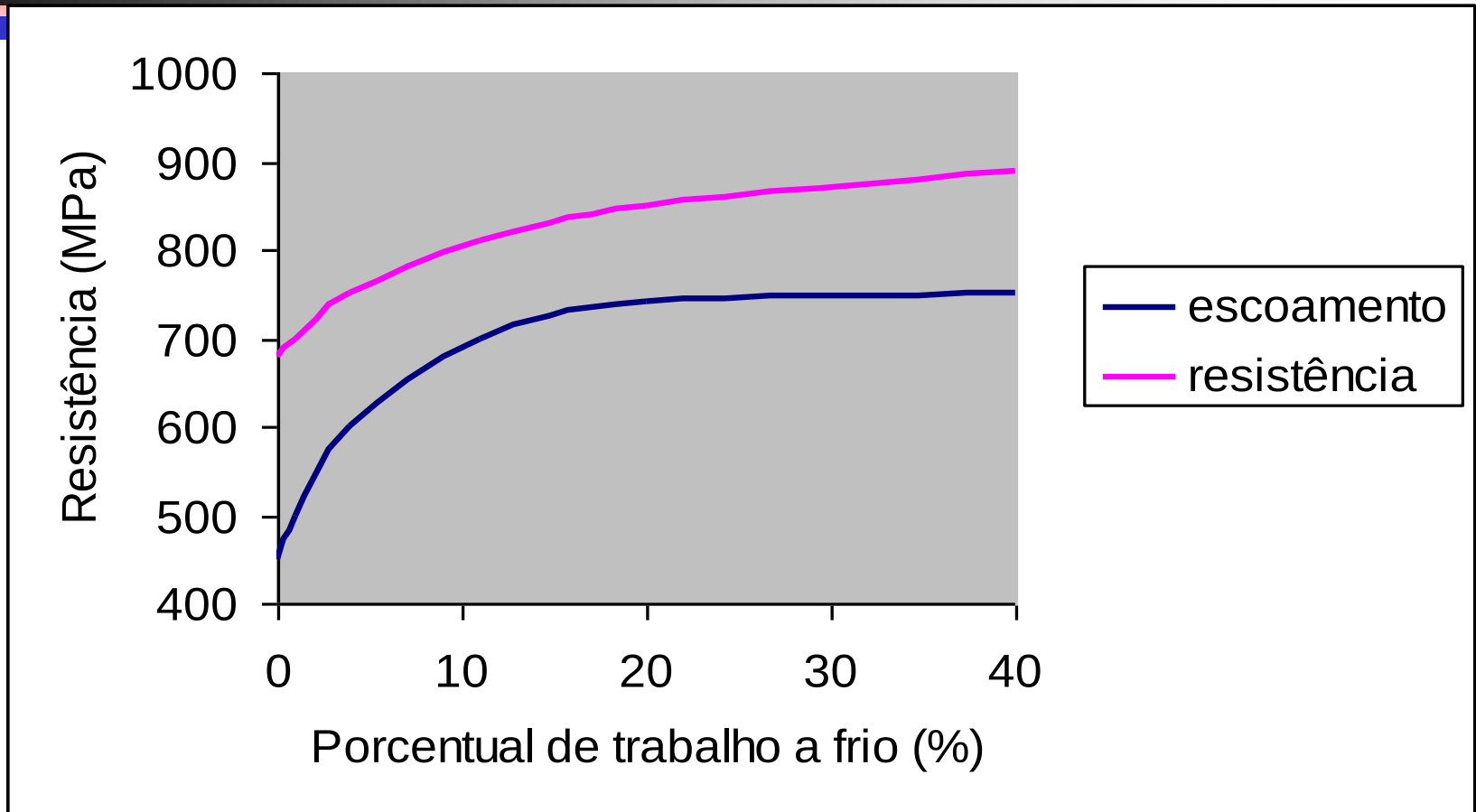
- $\%TF = 100 \times (A_0 - A_d) / A_0$
- Onde,
- A_0 = área original da seção reta antes da trefilação e
- A_d = área reduzida da seção reta após a trefilação



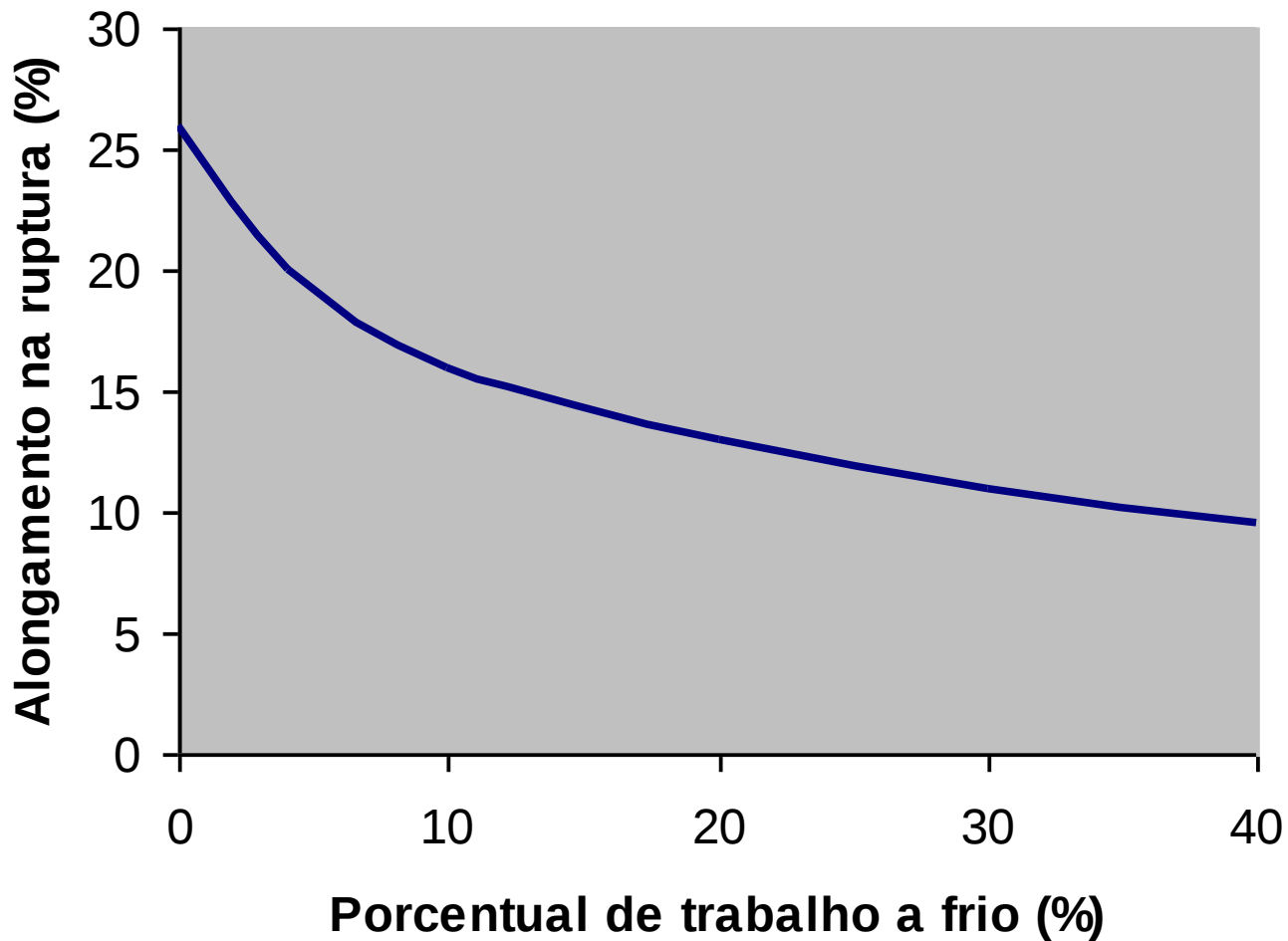
Encruamento



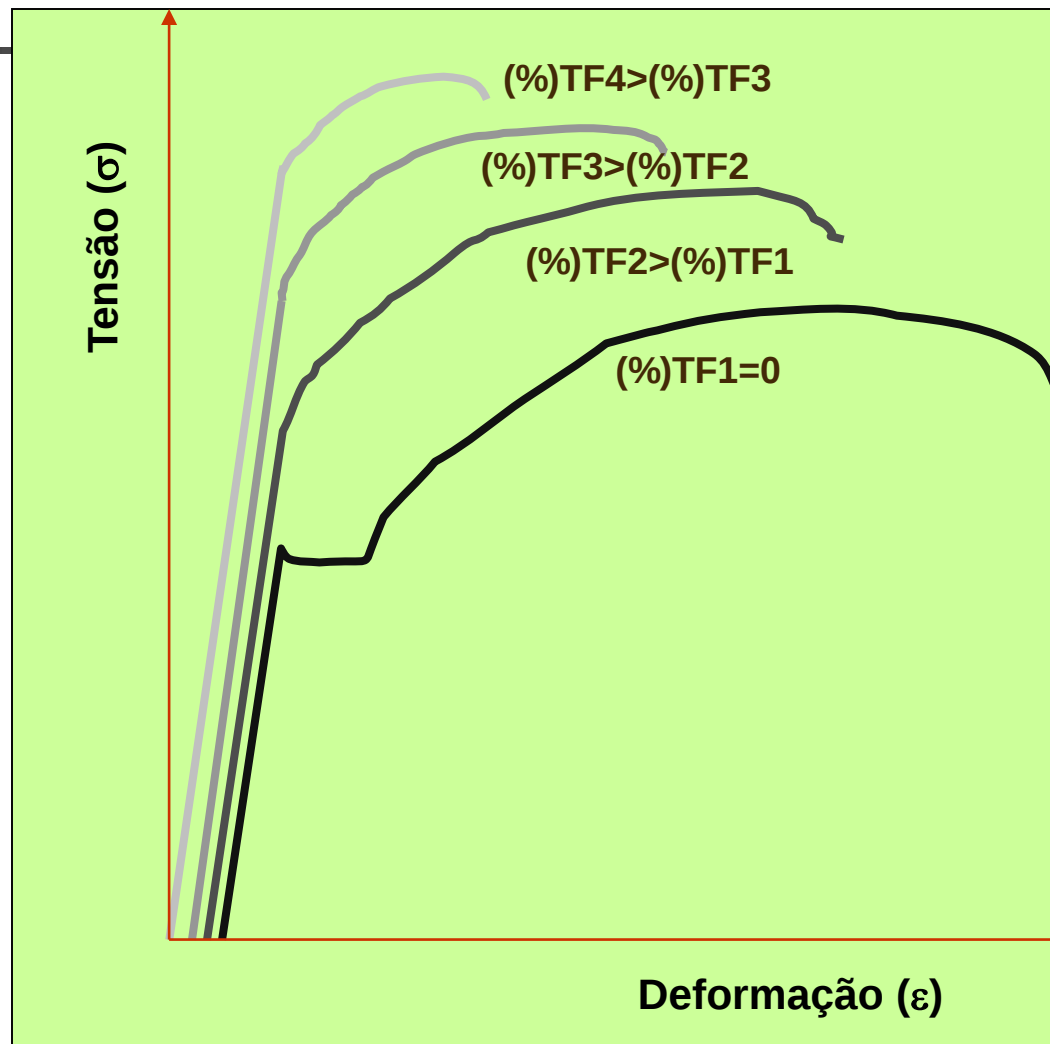
Efeito do encruamento no comportamento do aço



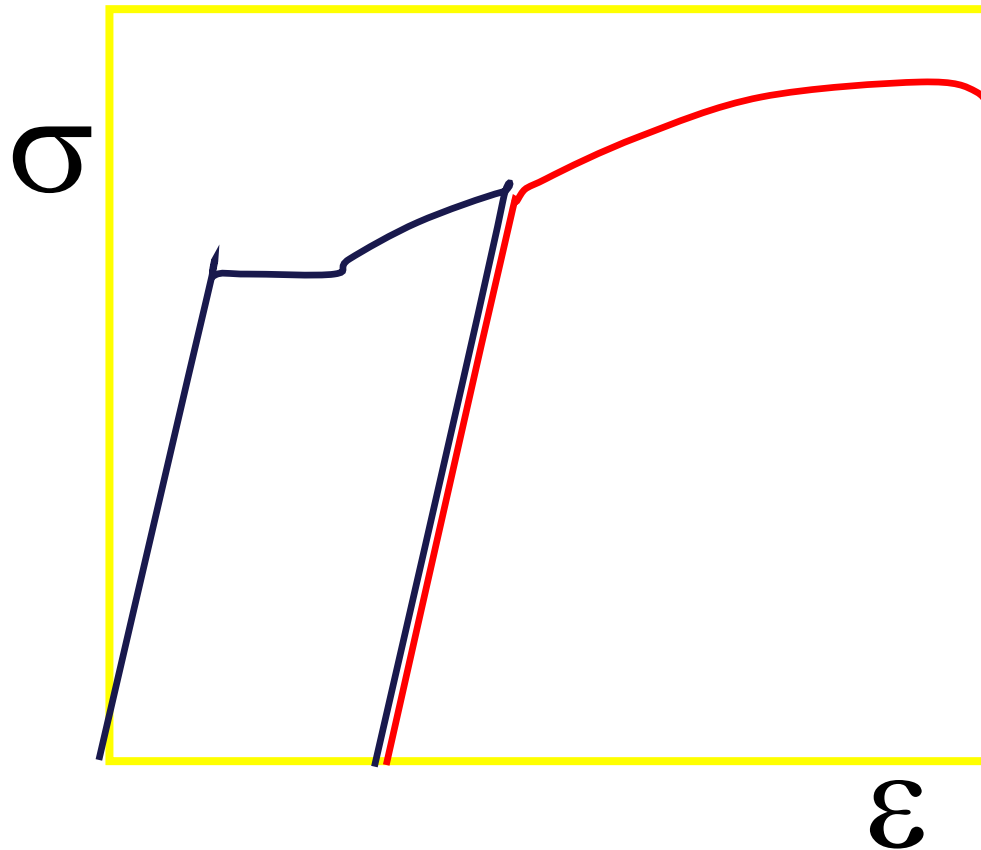
Efeito do encruamento no comportamento do aço



Efeito do encruamento no comportamento do aço



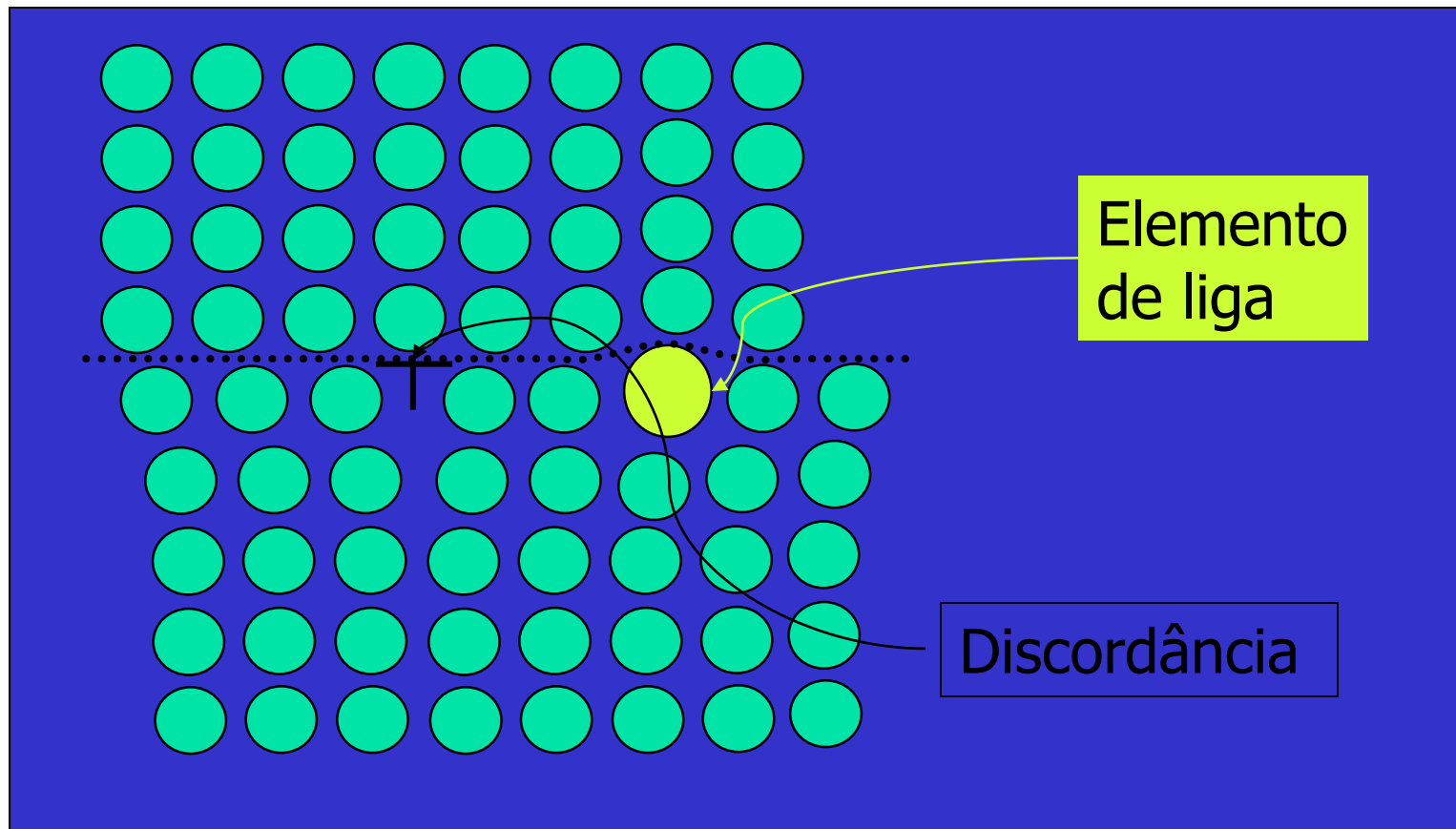
Dinâmica das deformações plásticas



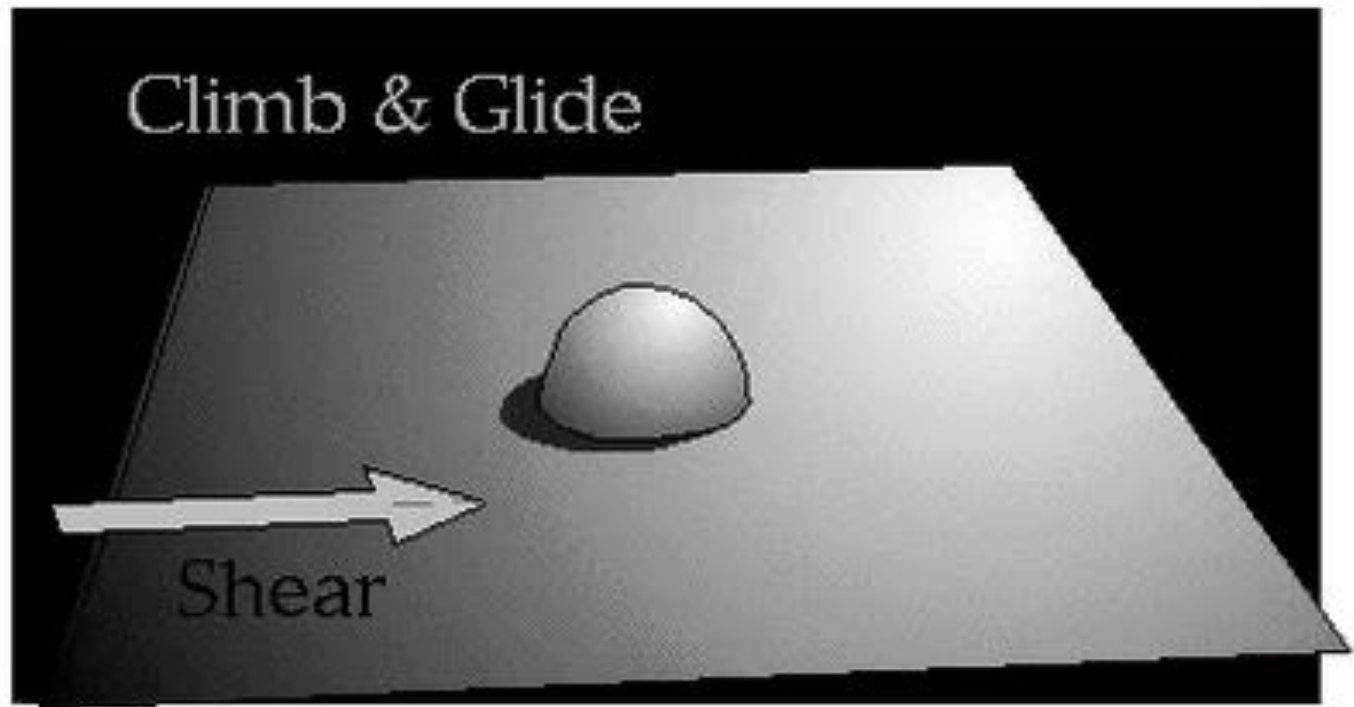
Escoamento

Recarregamento
sem parar

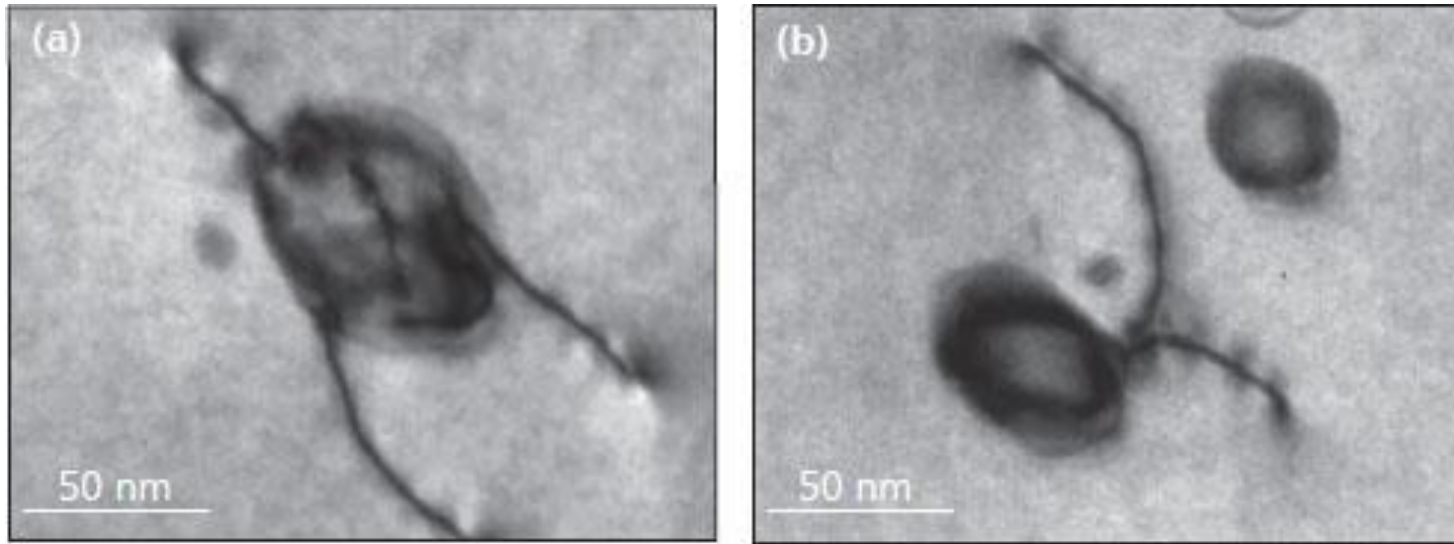
Influência de compostos dificultadores de escorregamentos



Subida de discordância



“Subida da discordância”



- (a) Escalada de discordâncias sobre uma partícula de óxido;
- (b) retenção da parte traseira de uma discordância na interface matriz / partícula

Teichmann, K. et al. High Temperature Strengthening Mechanisms in the Alloy Platinum-5% Rhodium DPH. Platinum Metals Rev., 2011, 55, (4), 217

Influência de compostos dificultadores de escorregamentos

