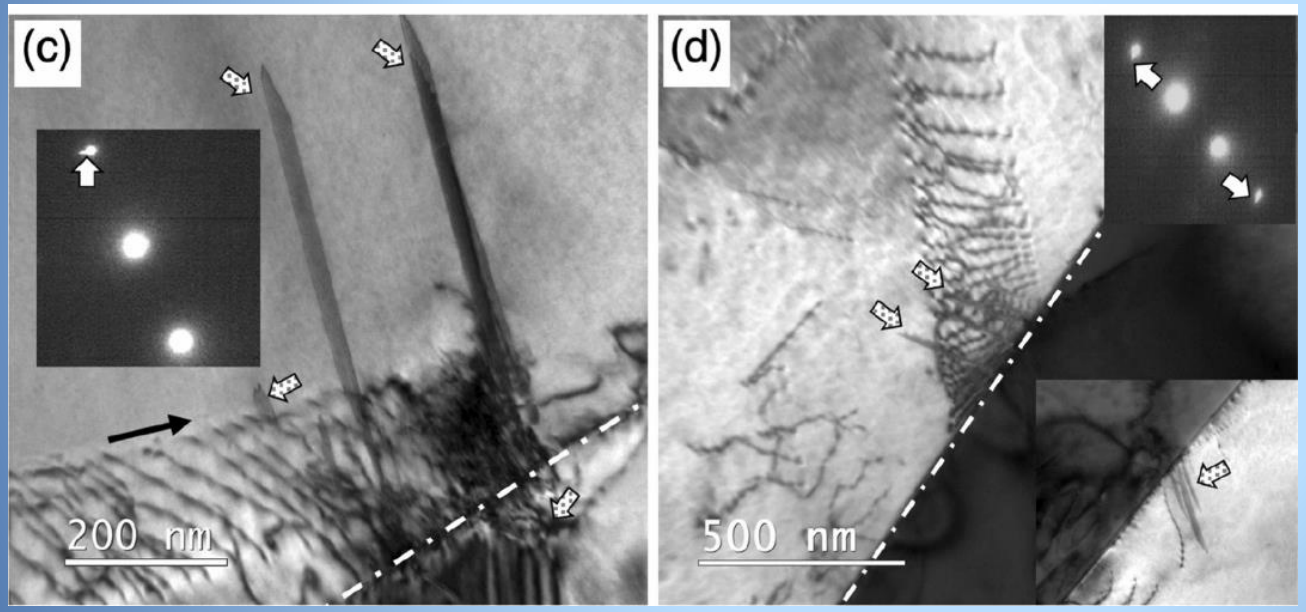
LOM3013
Ciência dos Materiais

Imperfeições Cristalinas

Discordâncias



(**c**,**d**) Dislocations pile-ups and stacking faults nucleation observed near an annealing twin boundary.

Hung, CY., Bai, Y., Shimokawa, T. *et al.* A correlation between grain boundary character and deformation twin nucleation mechanism in coarse-grained high-Mn austenitic steel. *Sci Rep* **11,** 8468 (2021). https://doi.org/10.1038/s41598-021-87811-w

Profa. Maria Ismenia Sodero
maria.ismenia@usp.br

Defeitos Lineares
Discordâncias

Podem ser originadas durante a solidificação ou, mais comumente durante a deformação;

São defeitos lineares. Existe uma linha separando a seção perfeita, da seção deformada do material.

São responsáveis pelo comportamento mecânico dos materiais quando submetidos a cisalhamento. Tensão de cisalhamento teórica: Exemplo: whiskers de carboneto de Si com resistência superior a 40GPa.

São responsáveis pelo fato de que os metais sofram escoamento em níveis de tensão muito menores do que a tensão teórica.

Existem dois tipos fundamentais de discordância

- Discordância em linha (edge dislocation)
- Discordância em hélice (screw dislocation)

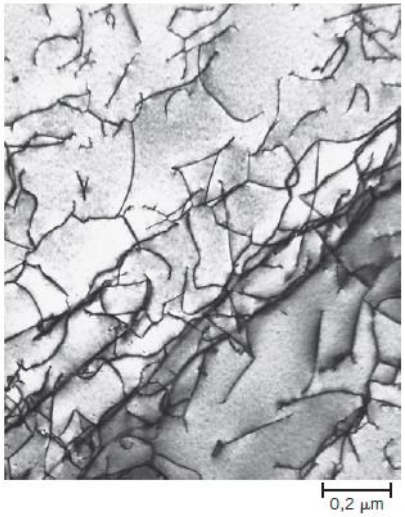


Figura 4.6 Micrografia eletrônica de transmissão de uma liga de titânio onde as linhas escuras são discordâncias. 51.450×. (Cortesia de M. R. Plichta, Michigan Technological University.)

Defeitos Lineares
Discordâncias

- A quantidade de discordâncias pode ser controlada pelo grau de deformação plástica e/ou por tratamentos térmicos.

  → Nos metais deformados a frio ocorre um aumento na quantidade de discordâncias.

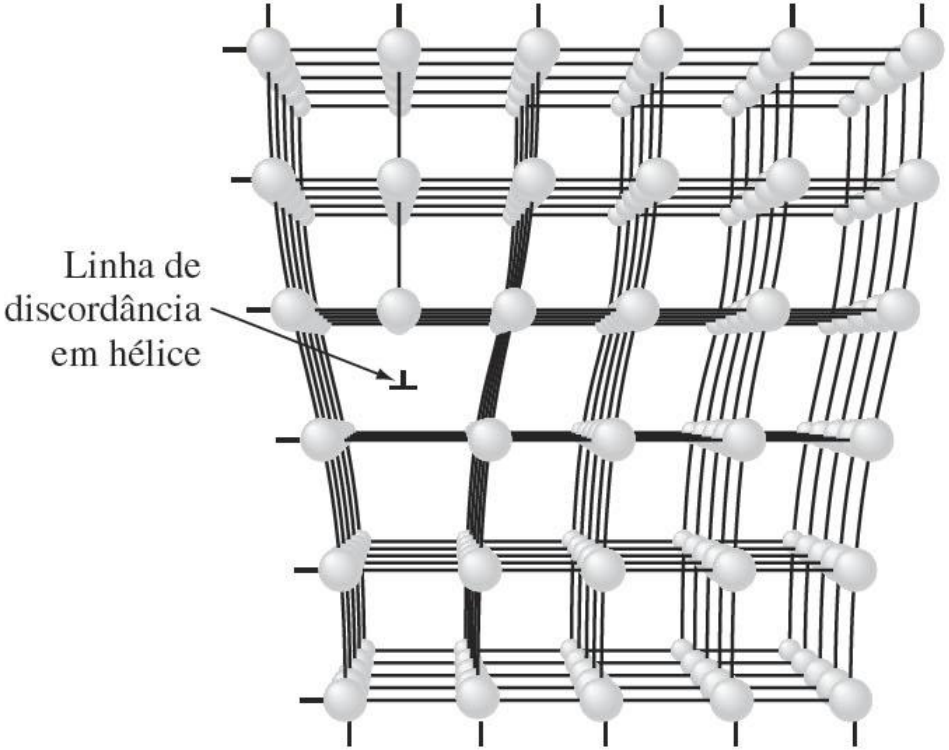
  → Com aumento da temperatura as discordâncias podem se movimentar com maior facilidade, o que favorece o aniquilamento das mesmas.

- Um metal contém em média 10^6 a 10^8 cm de discordâncias por cm^3

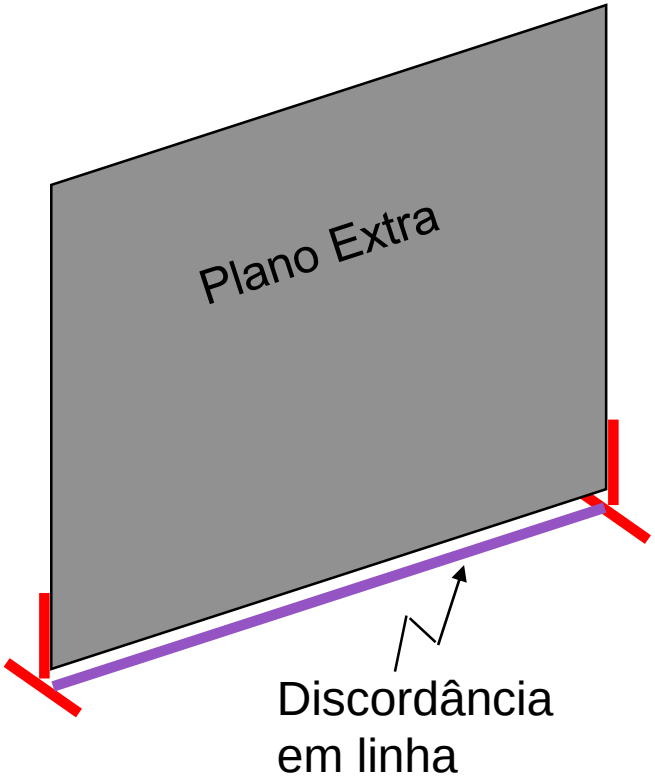
- Um metal severamente deformado apresenta cerca de 10^{12} cm de discordâncias por cm^3.

Discordâncias

Os átomos são deslocados perpendicularmente à linha de discordância

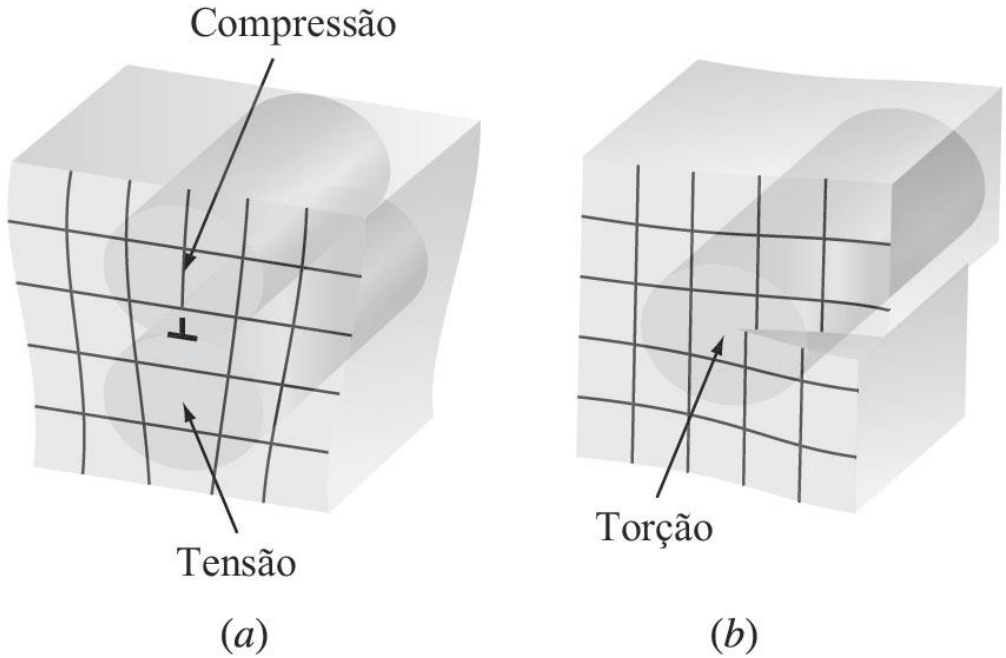


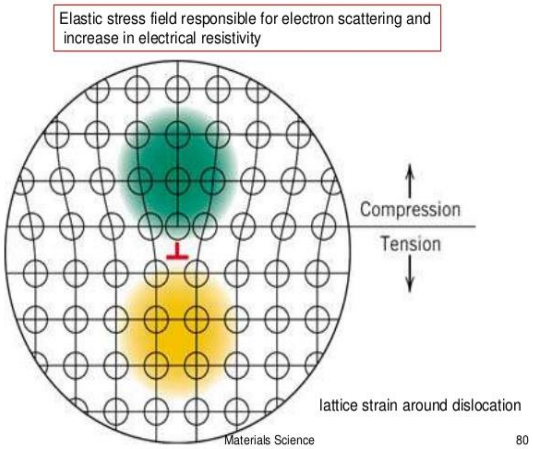
(*a*)



(*a*) Discordância em cunha positiva em uma rede cristalina. Aparece um defeito linear na região imediatamente acima do “tê” invertido, ⊥, onde um semiplano atômico foi introduzido.

Campo de deformação ao redor da discordância





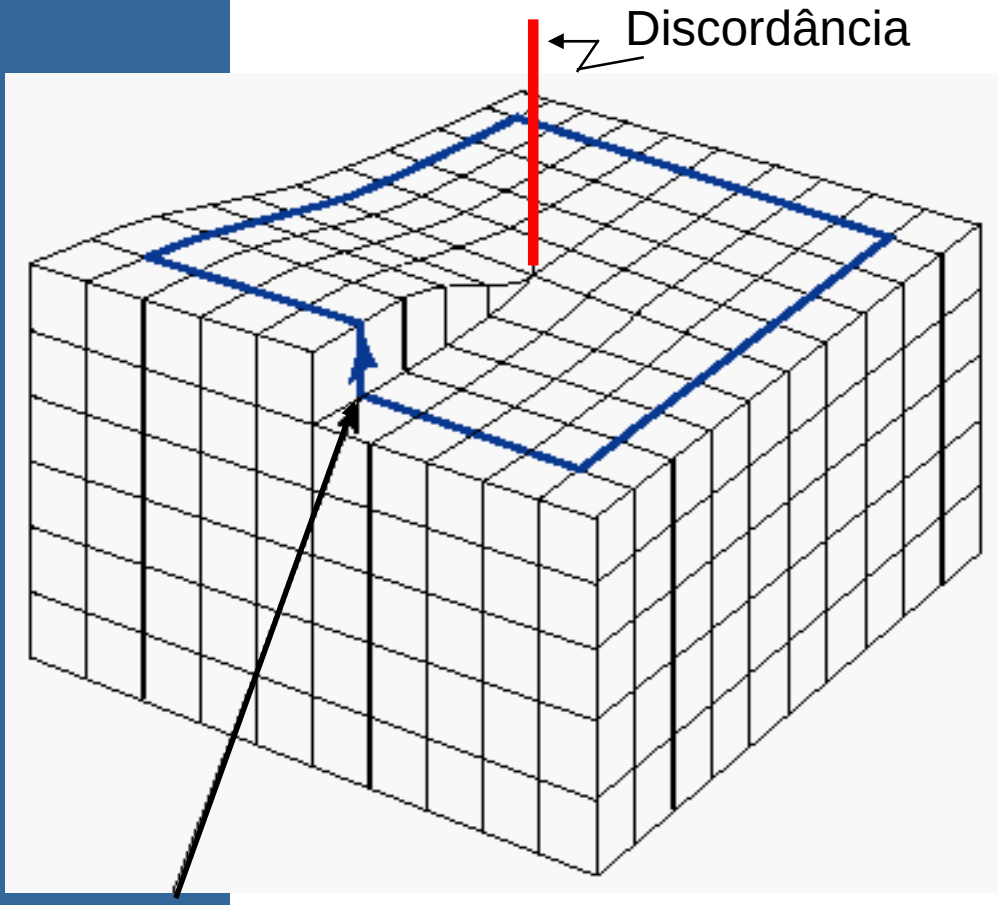
(a) Discordância em cunha

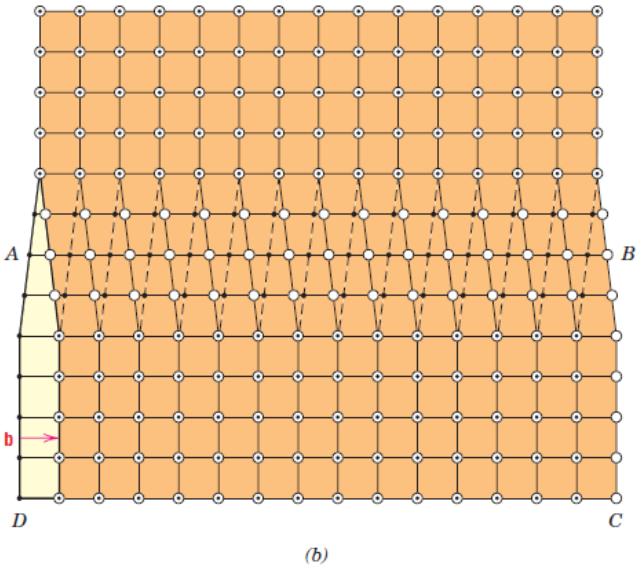
Os átomos acima da linha da discordância são pressionados uns contra os outros – compressão;

Enquanto que os átomos abaixo da linha da discordância são puxados uns para longe dos outros – tração

(a) Discordância em hélice

Discordância em Hélice

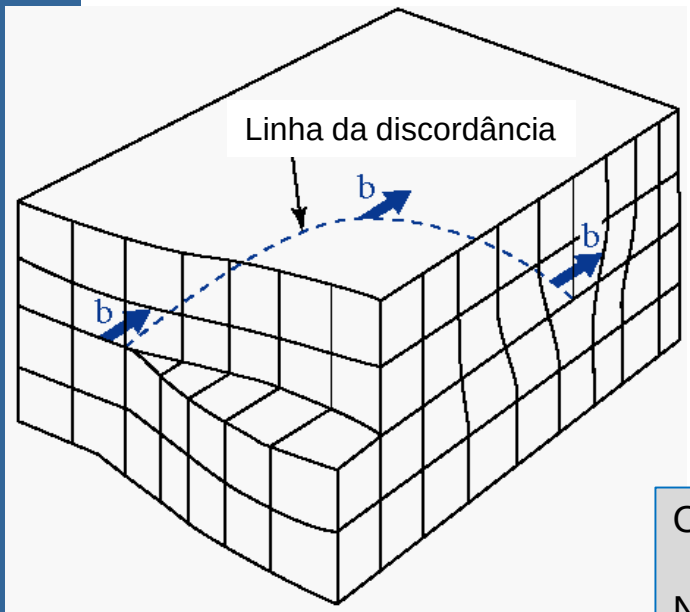


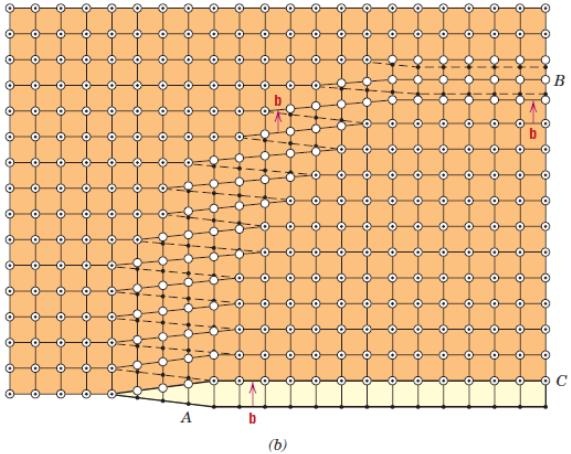


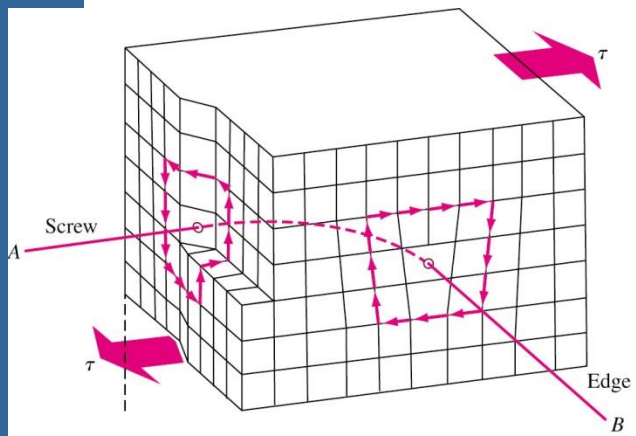
Neste caso o vetor de Burgers é *paralelo* a discordância.

Uma boa analogia para o efeito deste tipo de discordância é "*rasgar a lista telefônica*"

Discordância mista



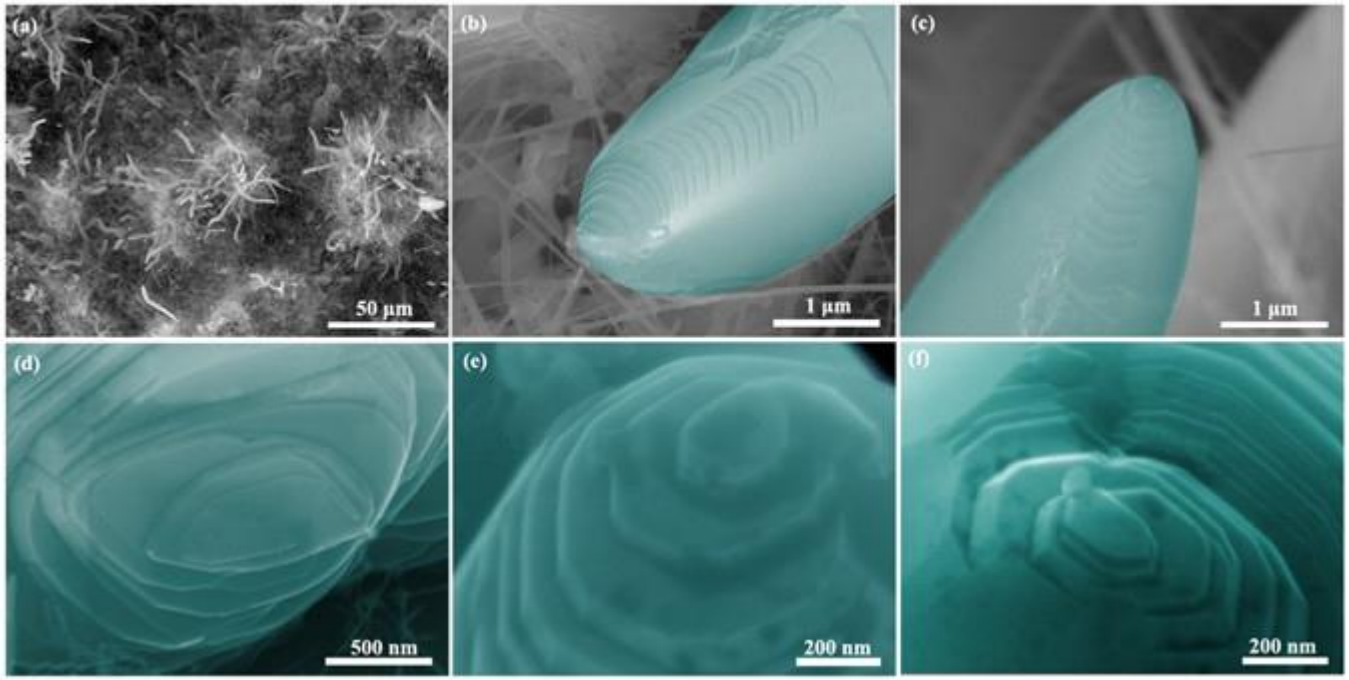




O vetor de Burgers mantém uma direção fixa no espaço.

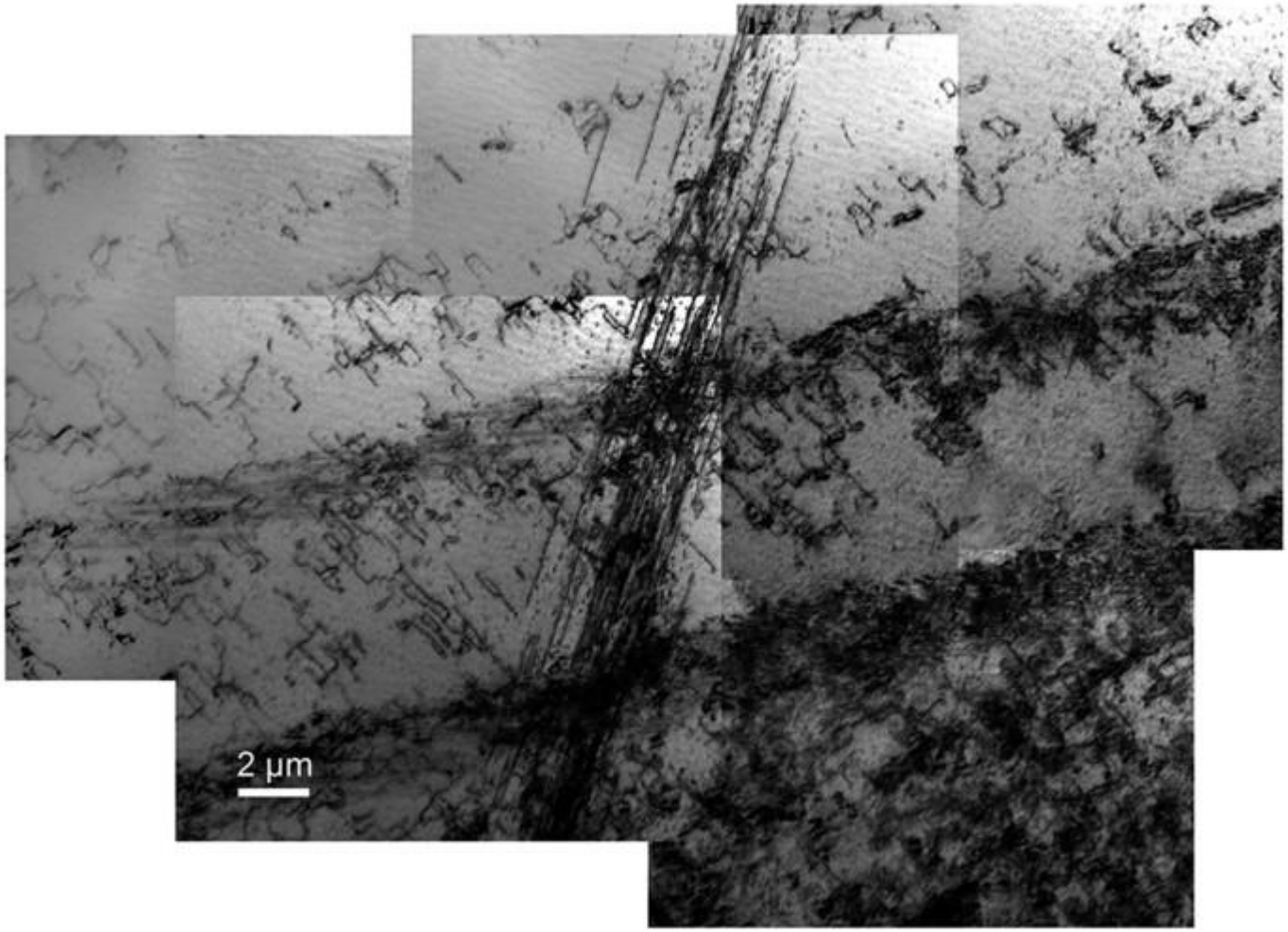
Na extremidade inferior esquerda, onde a discordância é pura hélice, **b** é paralelo a discordância.

Na extremidade superior direita, onde a discordância é pura linha, **b** é perpendicular a discordância.



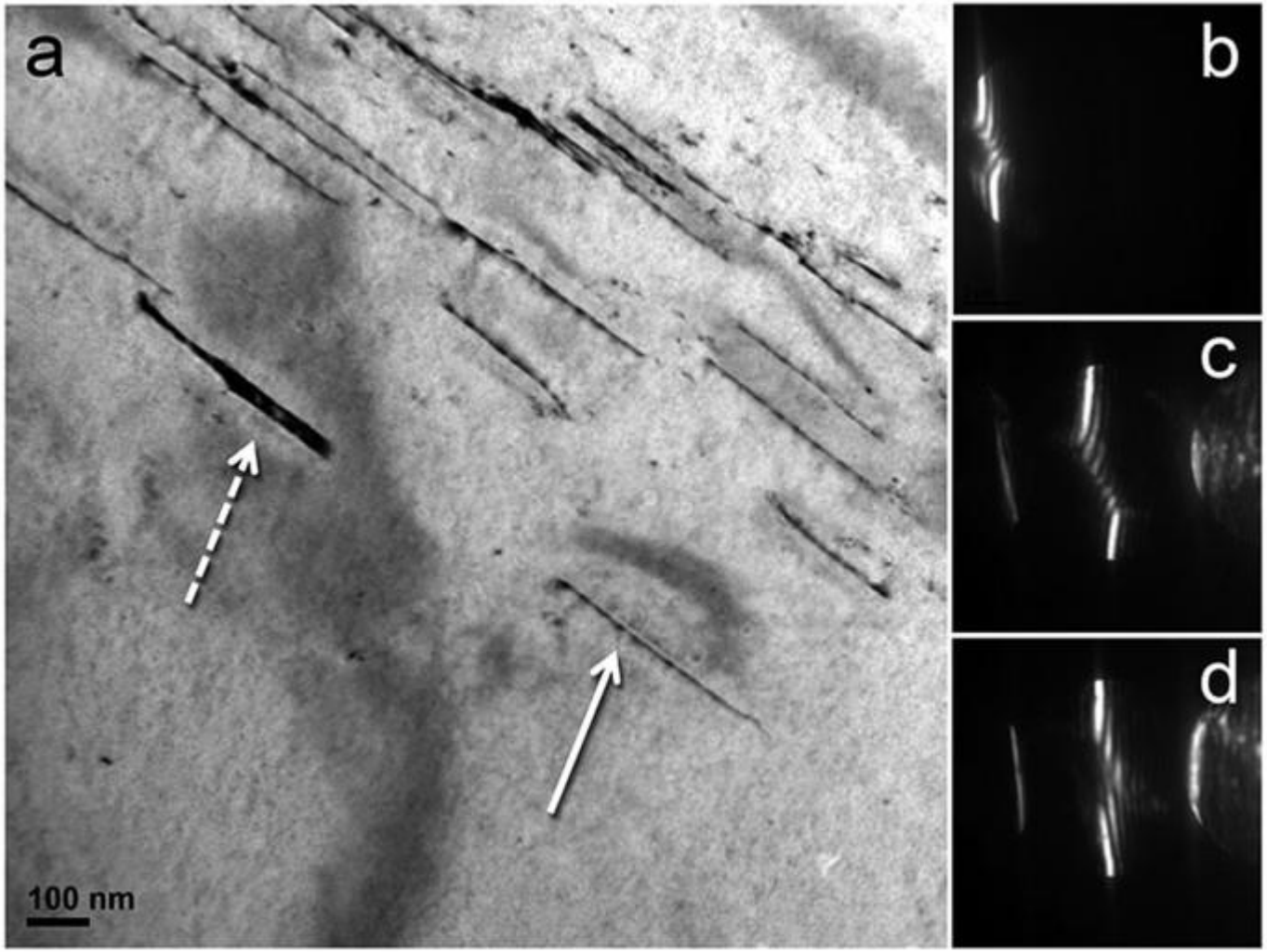
(a) SEM surface image of the as-synthesized α-Al2O3 nanowires on the as-prepared SiC-Si-Al2O3 ceramics; (b) and (c) SEM images of a representative screw dislocation core on the conical tip of α-Al2O3 nanowires; (d), (e) and (f) high-magnification SEM images of the representative screw dislocation core on the tip of α-Al2O3 nanowires.

Chu, Y., Li, J. & Chen, J. Solid Conical Cap-closing Hollow Tube Growth by Axial Screw Dislocations. *Sci Rep* **7,** 2803 (2017).
https://doi.org/10.1038/s41598-017-03109-w



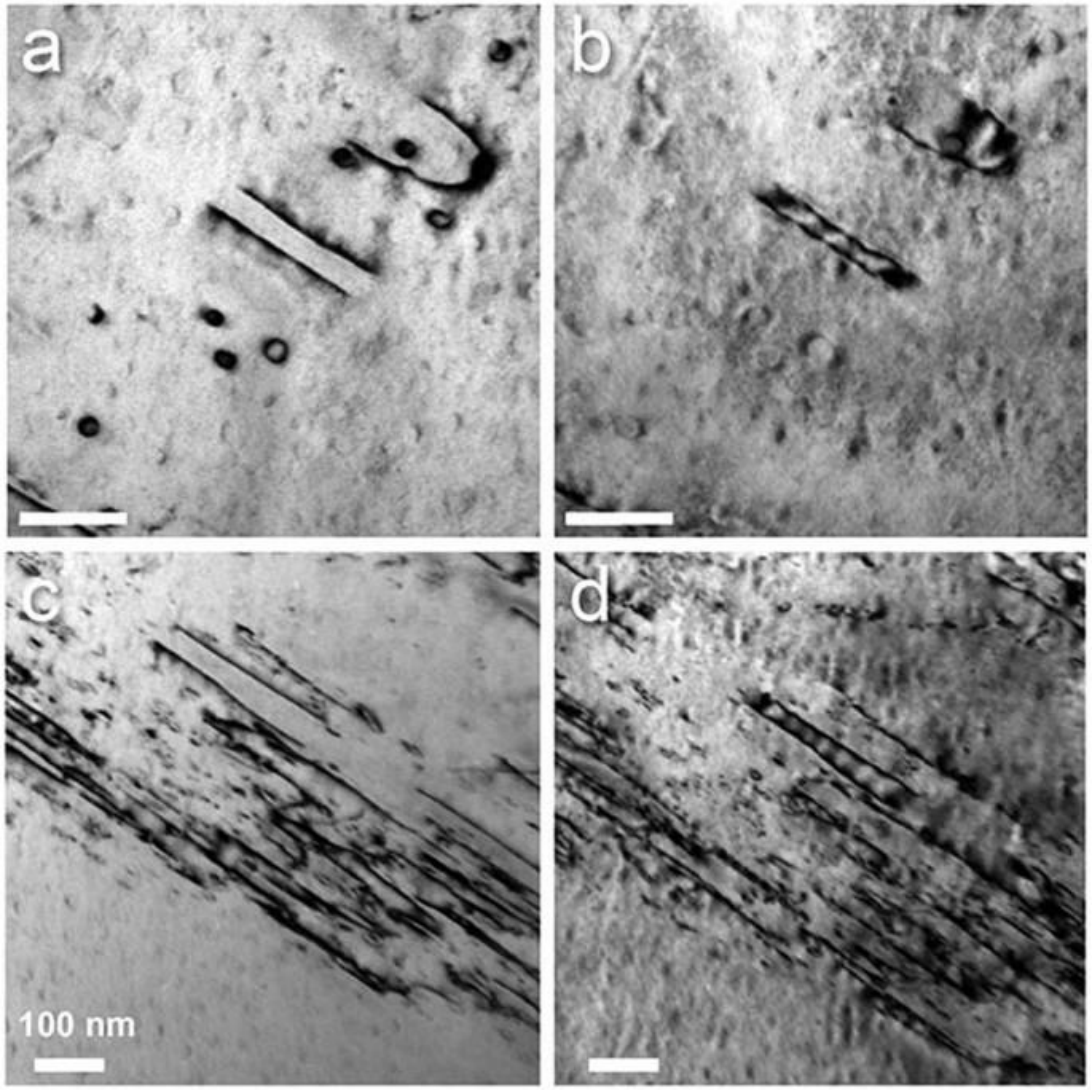
Bright-field Bragg-contrast image displaying the typical microstructure of the deformed $Al_{28}Co_{20}Cr_{11}Fe_{15}Ni_{26}$ high-entropy alloy.
The image is composed of five overlapping single TEM micrographs. Imaged using the reflection (−1 0 1) at the [1 0 1] zone axis

Feuerbacher, M. Dislocations and deformation microstructure in a B2-ordered $Al_{28}Co_{20}Cr_{11}Fe_{15}Ni_{26}$ high-entropy alloy. *Sci Rep* **6,** 29700 (2016). https://doi.org/10.1038/srep29700



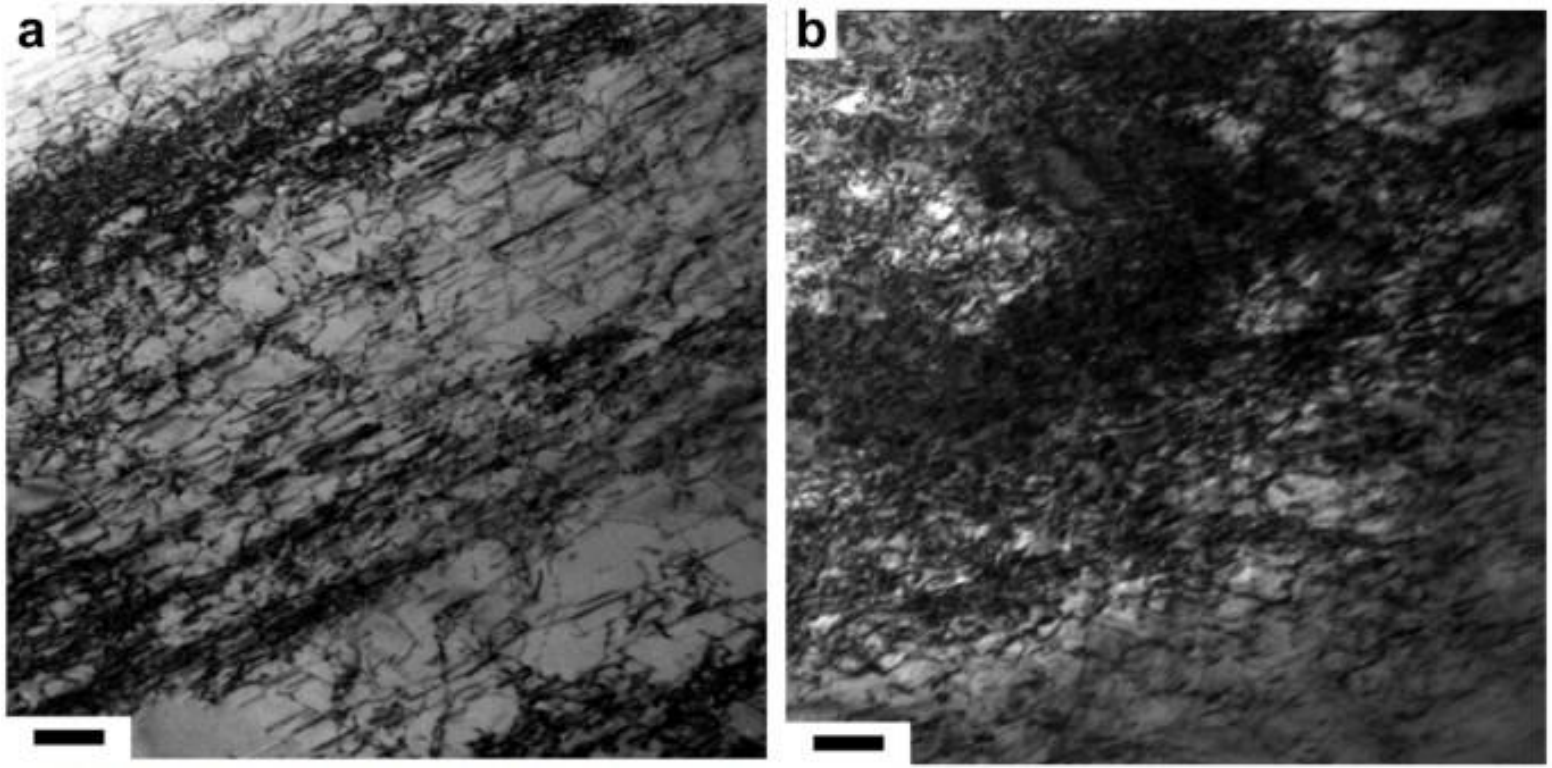
Analysis of dislocations in the deformed $Al_{28}Co_{20}Cr_{11}Fe_{15}Ni_{26}$ high-entropy alloy.
(**a**) Bright-field Bragg-contrast micrograph imaged using the (−1 0 1) reflection close to the [1 0 1] zone axis. (**b**,**c**) CBED pattern of the single dislocation (solid arrow). (**d**) CBED pattern of the narrow pair of dislocations (dashed arrow).

Feuerbacher, M. Dislocations and deformation microstructure in a B2-ordered $Al_{28}Co_{20}Cr_{11}Fe_{15}Ni_{26}$ high-entropy alloy. *Sci Rep* **6,** 29700 (2016). https://doi.org/10.1038/srep29700



Bright-field Bragg-contrast micrographs of dislocations in the deformed $l_{28}Co_{20}Cr_{11}Fe_{15}Ni_{26}$ high-entropy alloy. (**a**,**c**) imaged using the (1 0 −1) reflection. (**b**,**d**) imaged using the (−1 0 1) reflection at the [1 0 1] zone axis. The scale bar is 100 nm in all images

Feuerbacher, M. Dislocations and deformation microstructure in a B2-ordered $Al_{28}Co_{20}Cr_{11}Fe_{15}Ni_{26}$ high-entropy alloy. *Sci Rep* **6,** 29700 (2016). https://doi.org/10.1038/srep29700



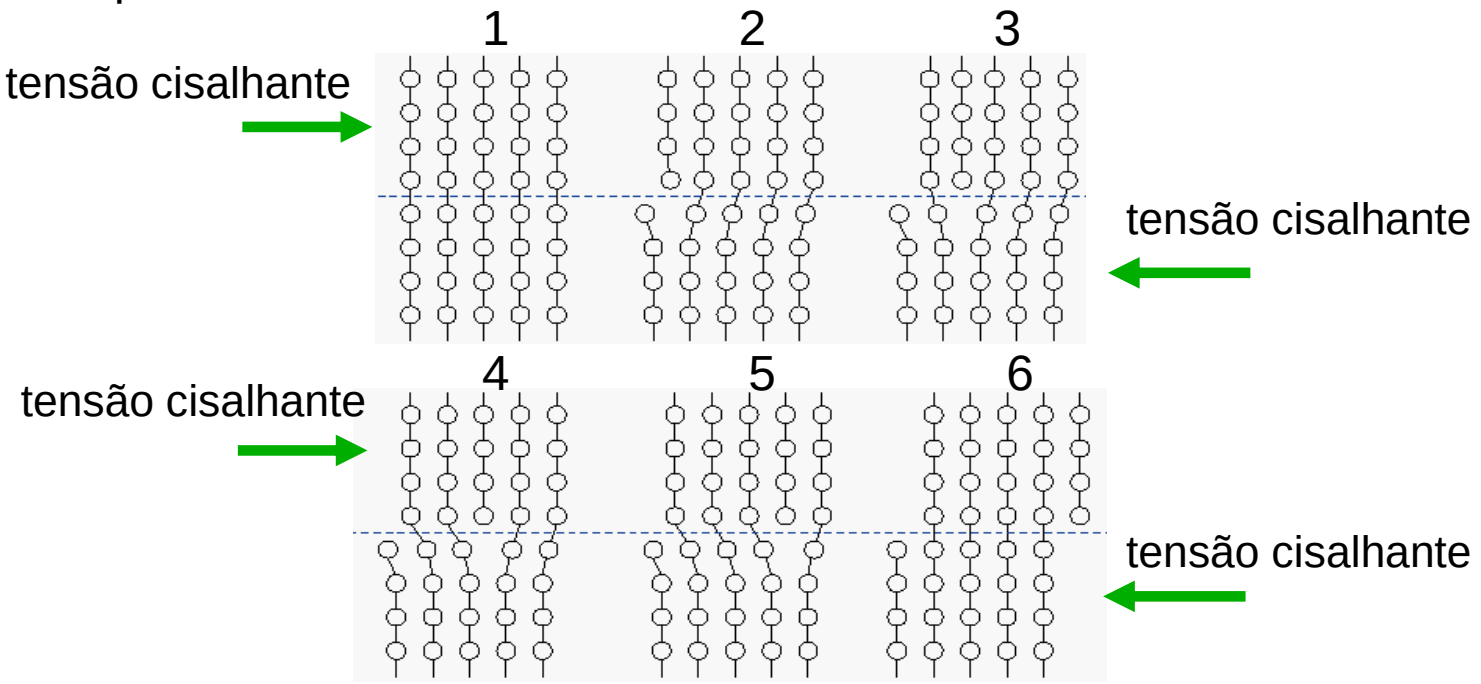
Microstructural characterization of warm-rolled metastable austenitic steels.
Two-beam bright field TEM images of TMT samples with (**a**) 10% and (**b**) 20% thickness reduction. Scale bar: 100 nm.

Discordâncias e deformação mecânica

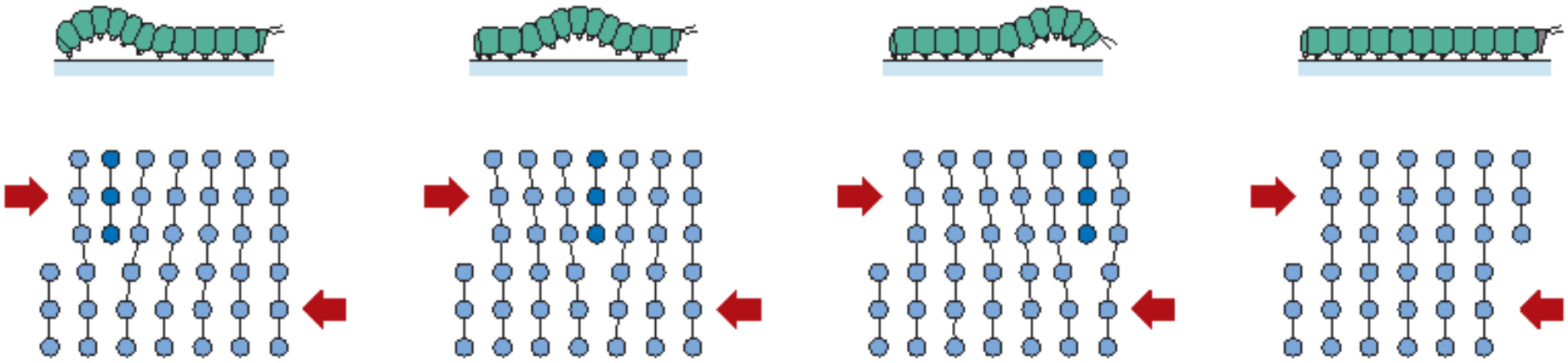
A tensão cisalhante crítica é o valor máximo, acima do qual o cristal começa a cisalhar.

No entanto, os valores teóricos são muito maiores do que os valores obtidos experimentalmente.

As discordâncias reduzem a tensão necessária para cisalhamento, ao introduzir um processo sequencial, e não simultâneo, para o rompimento das ligações atômicas no plano de deslizamento.



DEFEITOS LINEARES - DISCORDÂNCIAS

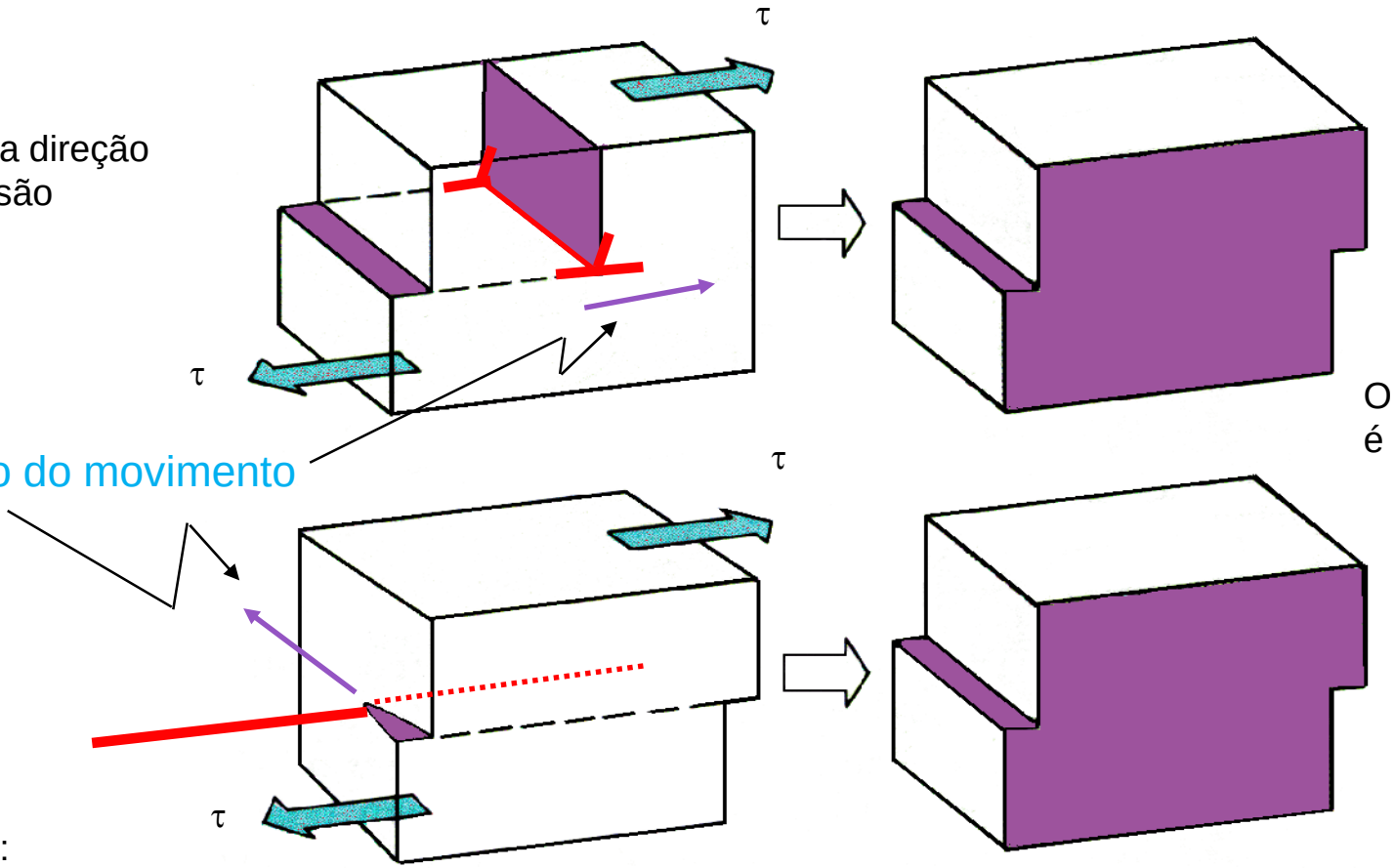


Representação da analogia entre os movimentos de uma lagarta e de uma discordância

Vídeo: Movimento de discordância aresta

Discordâncias e def. mec. (cont.)

Linha:
mov. na direção
da tensão



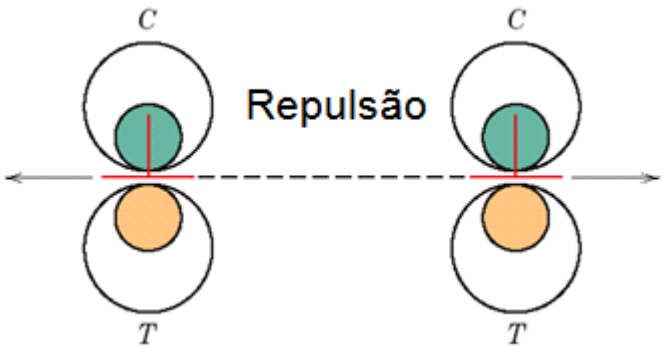
Direção do movimento

O efeito final
é o mesmo.

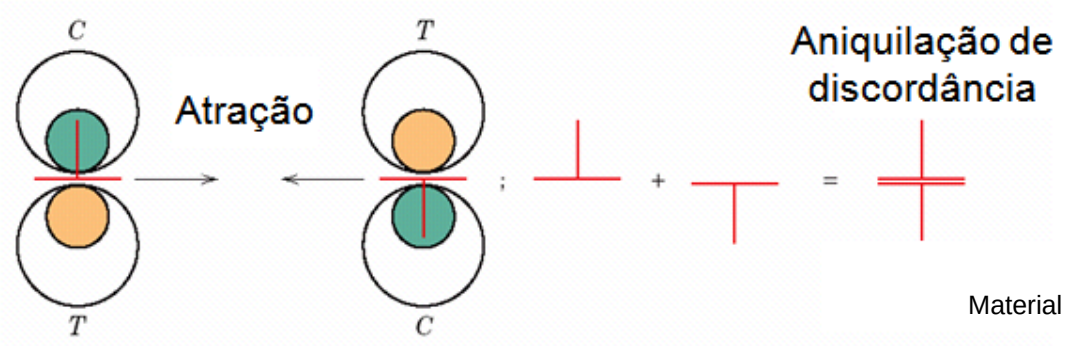
Hélice:
mov. normal a
direção da tensão.

INTERAÇÃO DE DISCORDÂNCIAS

Duas discordâncias em cunha de **mesmo sinal e localizadas sobre o mesmo plano de escorregamento exercem uma força repulsiva uma sobre a outra**, C e T representam as regiões de compressão e tração, respectivamente.



Discordâncias em cunha com **sinais opostos e localizadas sobre o mesmo plano de escorregamento exercem uma força atrativa uma sobre a outra**. Ao se encontrarem, as discordâncias se anulam mutuamente, deixando uma região de cristal perfeito.



Material de aula profa. Vanessa Chad

Discordâncias e deformação plástica

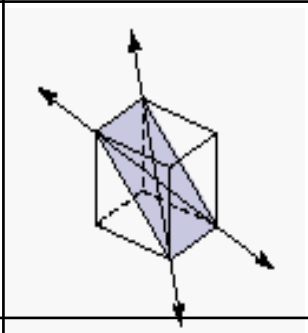
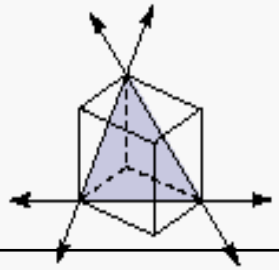
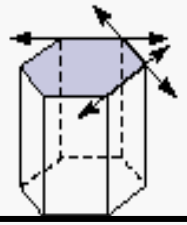
A habilidade de um metal em ser deformado de maneira plástica depende da habilidade das discordâncias em se moverem;

PLANO DE ESCORREGAMENTO – SISTEMA DE ESCORREGAMENTO.

As discordâncias não se movem com o mesmo grau de facilidade sobre todos os planos cristalográficos e em todas as direções. Existe um plano preferencial, e neste plano existem direções específicas para ocorrer o movimento das discordâncias.

A restrição ou impedimento do movimento de discordâncias confere maior dureza e mais resistência ao material; - mecanismo de aumento de resistência em metais

Sistemas de deslizamento (cont.)

Estrutura Cristalina	Planos de Deslizamento	Direções de Deslizamento	Número de Sistemas de Deslizamento	Geometria da Célula Unitária	Exemplos
CCC	{110} {211} {321}	<111>	6x2 = 12 12 24		α-Fe, Mo, W
CFC	{111}	<110>	4x3 = 12		Al, Cu, γ-Fe, Ni
HC	{0001} {1010} {1011}	<1120>	3 3 6		Cd, Mg, α-Ti, Zn

Referências Bibliográficas

1) Askeland, D. R.; Phule, P. P. Ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: CENGAGE, 2008;
2) Callister Jr., W. D. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2006;
3) Callister Jr., W. D. Ciência e engenharia de materiais. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2008;
4) Shackelford, J. E. Ciência dos materiais. São Paulo: Prentice Hall, 2008;
5) Smith, W. Hashemi, J. Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais – MacGrawHill