

OBSERVAÇÕES DE DISCORDÂNCIAS: POSSÍVEIS EXPERIÊNCIAS EM LABORATÓRIOS DE FÍSICA MODERNA

J. SCARMINIO

Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina

1. INTRODUÇÃO

Uma das grandes dificuldades para o ensino de Física na maioria das Universidades brasileiras é o laboratório didático. A situação é mais agravante em laboratórios do tipo Física Moderna, Estrutura da Matéria, Estado Sólido, etc.; onde equipamentos normalmente utilizados são caros, logo, difíceis de serem adquiridos; além de muitos experimentos tradicionalmente realizados terem apenas valor histórico, estando bastante desatualizados em relação aos resultados recentes da Física.

Apresentamos uma sugestão para uma série de experimentos que poderão ser utilizados nos laboratórios didáticos acima citados, cujos fenômenos físicos envolvidos são atuais em Física do Estado Sólido. Relevante é o fato dos mesmos poderem ser feitos com um equipamento comum à maioria das Universidades: um microscópio ótico, além de material de consumo facilmente adquirível. Os experimentos referem-se à observação do fenômeno físico conhecido como discordâncias ("dislocations")*.

2. CONCEITOS GERAIS

Discordâncias são defeitos de estrutura em materiais cristalinos que resultam na introdução de linhas de átomos extras e/ou na distorção local na estrutura normal. Neste sentido, são distinguíveis dois tipos de discordâncias: discordâncias em aresta e em hélice (Figura 1). As discordâncias aparecem principalmente durante o crescimento do cristal e sob esforços mecânicos, estando intimamente relacionadas às propriedades mecânicas dos materiais, daí a im-

*Ambos os termos: discordância ou deslocação são encontrados nas traduções para a língua portuguesa. Da mesma forma, são encontradas as seguintes traduções para discordância em aresta: em linha ou em cunha. Idem para discordância em hélice ou em espiral.

portância em seu estudo. Como ilustração, podemos citar o simples ato de deformação dos metais, que se dá pelo mecanismo de movimento das discordâncias. Também no processo de crescimento de cristais estes defeitos são importantes, pois sua presença cria situações energéticas favoráveis ao crescimento.

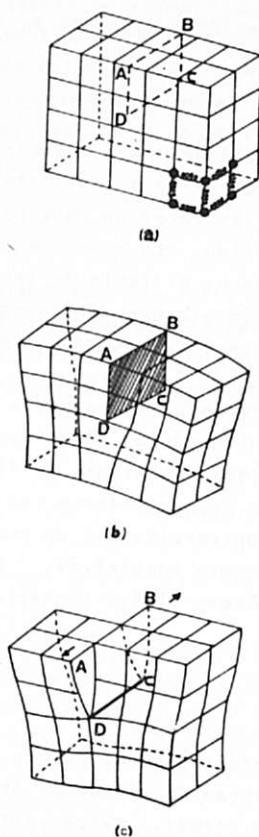


Figura 1 - Modelo de uma rede cúbica simples, onde os átomos são representados por esferas rígidas e as ligações entre os mesmos por molas; b) discordância em aresta DC, obtida pela inserção parcial de um plano de átomos em ABCD; c) discordância em hélice DC, obtida pelo deslizamento das faces paralelo ao plano ABCD inicial.

Existem várias técnicas e métodos de observações das discordâncias como microscopia eletrônica, difração de raios-X, etc.; mas certamente os métodos de decoração e o de superfície são os mais sim

ples e acessíveis. A observação nestes dois métodos é realizada por um microscópio ótico comum, na superfície do cristal. Na decoração é induzida uma precipitação química que decora as linhas de discordâncias.

No método de superfície, fundamentalmente o que ocorre é a remoção preferencial de átomos, por ataque químico, eletrolítico ou evaporação, em torno de um ponto onde a linha de discordância emerge na superfície do cristal (C e D na Figura 1), já que, as propriedades físicas e químicas nesta região são diferentes da matriz vizinha. A figura obtida pela remoção é conhecida como figura de ataque ("etch pit") que pode facilmente ser observada com um microscópio ótico. As soluções para os ataques são tabeladas para a grande maioria dos cristais ⁽²⁾.

Mostraremos abaixo alguns fenômenos que podem ser observados no estudo das discordâncias. Foram observados cristais de KCl, crescidos por fusão em forno aberto em nosso laboratório. Pode-se facilmente crescer cristais de KCl ou NaCl por solução, de uma maneira simples e barata e que servem perfeitamente às experiências propostas ⁽³⁾.

3. ALGUNS FENÔMENOS OBSERVÁVEIS

Inicialmente as amostras de KCl foram clivadas do cristal crescido, o que reduz as superfícies de observação aos planos {100}. Os ataques para revelar as respectivas figuras nestes cristais, foram feitos por uma solução saturada de $PbCl_2$ em etanol, durante 30 segundos ⁽⁴⁾. As fotomicrografias foram obtidas com uma câmara fotográfica acoplada ao microscópio ótico.

a) Figuras de ataque:

Na Figura 2 cada pirâmide (figura de ataque), corresponde a uma linha de discordância emergindo na superfície do cristal. Da mesma forma, nas Figuras 3, 4, 5 e 6, cada ponto corresponde a uma discordância.

b) Contorno de grão:

No processo de crescimento ou em deformações seguidas de longos tratamentos térmicos, um cristal pode apresentar grãos com orientações cristalográficas ligeiramente diferentes, que dão origem na região de vizinhança, a um arranjo de discordâncias conhecidas como contorno de grão ⁽⁵⁾. No caso limite quando a inclinação entre os grãos é da ordem de segundos de arcos a imperfeição é chamada de contorno de baixo ângulo, como no conjunto de discordâncias de Figura 2 e parte da Figura 3.

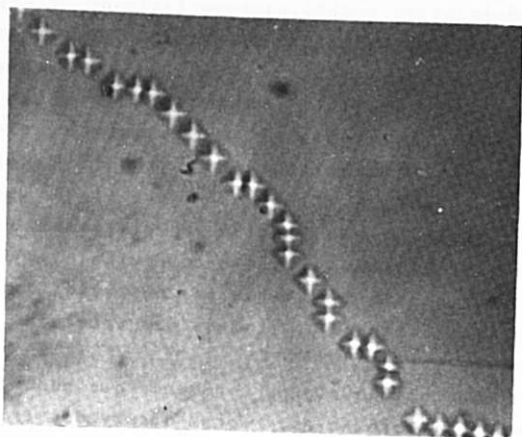


Figura 2 - Figuras de ataque, mostrando um contorno de grão de baixo ângulo em um monocristal de KCl.

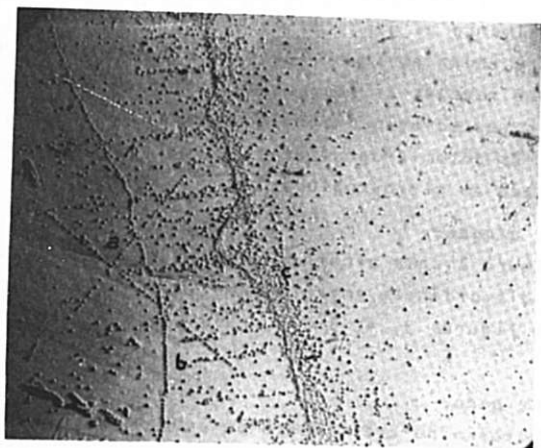


Figura 3 - a) Discordâncias em direções de escorregamento ortogonais.
b) Contorno de grão de baixo ângulo.
c) Discordâncias reagrupadas em torno de um contorno de grão.

c) *Poligonização:*

Deformações plásticas em cristais geram altas densidades de discordâncias e conseqüentemente uma energia elástica armazenada. Por tratamentos térmicos e altas temperaturas, pode-se produzir o movimento das discordâncias que se dispõem em configurações de menor energia. O fenômeno é conhecido como poligonização e se obtém contornos de grãos de baixo ângulo, com as discordâncias em aresta alinhadas e igualmente espaçadas entre si (Figura 4).



Figura 4 - Poligonização em KCl, obtida por tratamento térmico de 24 horas a 680°C.

d) *Movimento de discordâncias:*

Discordâncias podem mover-se sob o efeito de tensões mecânicas, tratamentos térmicos, radiações, etc.. Um dos efeitos deste movimento é a possibilidade de aniquilação mútua entre duas discordâncias de sinais contrários, como mostra a Figura 5, onde pode-se comparar a densidade de discordâncias antes e após um tratamento térmico, bem como o rearranjo das mesmas com a formação de sub-contornos de grãos.

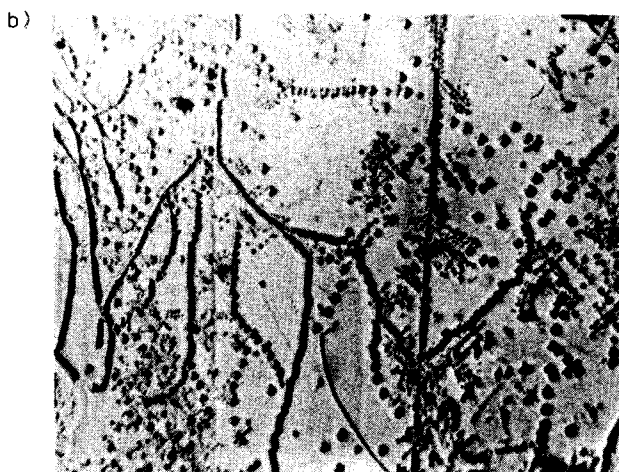
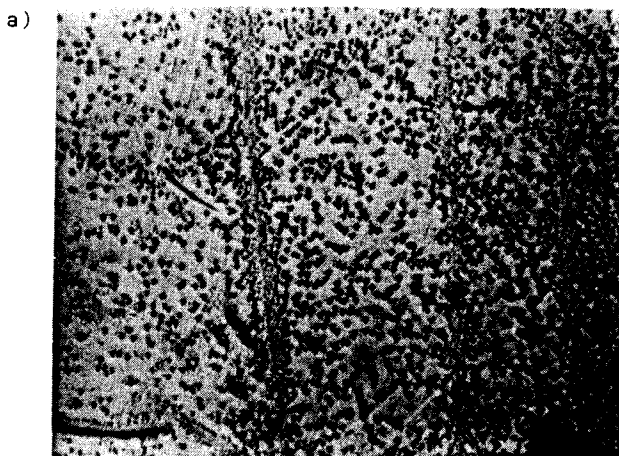


Figura 5 - Variação na densidade de discordâncias em regiões correspondentes com a formação de sub-contornos de grãos com o tratamento térmico: a) amostra não tratada; b) amostra tratada a 670°C por 1 hora.

e) *Bandas de escorregamento:*

As discordâncias foram inicialmente postuladas numa tentativa de explicar a diferença entre os valores experimentalmente observados, para as tensões de deformações, com aqueles calculados, supondo uma rede cristalina perfeita. O movimento daquelas imperfei-

ções facilitaria o processo de deformação do material (6). Atualmente tem-se uma teoria experimentalmente comprovada do mecanismo acima proposto (7). Observa-se por exemplo, que existem planos e direções preferenciais de escorregamento para cada sistema cristalino. A Figura 6 mostra linhas de escorregamento em KCl. A banda a 45° com o lado do cristal é formada por linhas de escorregamento constituídas de discordâncias tipo aresta e a banda de escorregamento paralela ao lado do cristal por discordâncias tipo hélice.

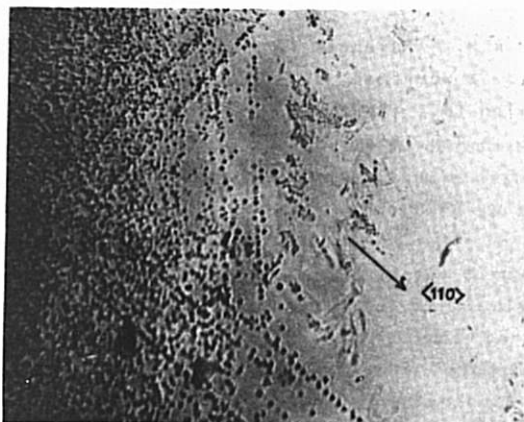


Figura 6 - Linhas de deslizamento nas direções $\langle 110 \rangle$.

IV. COMENTÁRIOS

Além dos fenômenos aqui descritos, muitos outros poderão ser observados. As discordâncias, como defeitos estruturais, têm uma marcável influência nas propriedades mecânicas e físicas dos materiais, de forma que problemas interessantes e atuais podem ser estudados (8).

Convém comentar que, embora o método e a técnica utilizados nas observações acima descritas sejam simples e diretos, é necessário adquirir-se certa habilidade, principalmente na clivagem dos cristais, e em especial, no processo de revelação das figuras de ataque onde certa dose de empirismo é empregada.

REFERÊNCIAS

- (1) Hull, D. - "Introduction to Dislocations", Pergamon Press, Second Ed., 1975.
- (2) Amelinckx, S. - "The Direct Observation of Dislocations", Academic Press, 1962, p. 40-49.
- (3) Tarjan, I. & Mátrai, M. - "Laboratory Manual on Crystal Growth", Akadémiai Kiadó, 1972.
- (4) Sherchenko, T.G. - Sov. Phys. 16(7), 572 (1972).
- (5) Kittel, C. - "Introduction to Solid State Physics", John Wiley, 1971.
- (6) Nabarro, F.R.M. - Advances in Phys. 1(3), 270 (1952).
- (7) Weertman, J. & Weertman, J. - "Elementary Dislocation Theory", The MacMillan Co., 1964.
- (8) Dumke, V.E. - Rev. Bras. Fís. 13, 287 (1983).