

Questões

- 1 . Yao, Edwards e Kurz (J. Nuclear Mater., 434, 2013, 402 – 410) investigaram a formação de anéis de discordância em aços ferrítico-martensíticos de ativação reduzida irradiados com nêutrons a 400°C (a irradiação foi feita com nêutrons até uma dose de 3,9 dpa) usando microscopia eletrônica de transmissão. Os autores relatam que são formados anéis com vetor de Burgers $a_0 < 100 >$ localizados em planos $\{100\}$ e anéis com vetor de Burgers $\frac{a_0}{2} < 111 >$ localizados em planos $\{111\}$. Com base nessas informações responda:
 - a . Os autores afirmam que quando a lâmina fina é observada com a direção do feixe em $g = [100]$ apenas dois terços dos anéis $\{100\}$ serão observados (os demais estarão invisíveis), por quê? Como esses anéis aparecerão na imagem? (vale 1,5 ponto)
 - b . Os autores ainda concluem que os resultados deles provam que não há anéis $\frac{a_0}{2} < 111 >$ em planos $\{110\}$ porque não há anéis observados “de lado” (*edge-on*) quando se gera a imagem com $g = [110]$, por quê? (vale 1,0 ponto)
- 2 . Ligas de alta entropia (*High entropy alloys*, HEA), são uma classe de ligas multicomponentes (com quatro ou mais componentes) em que não há um elemento de liga predominante. Elas tem chamado a atenção da comunidade que desenvolve combustíveis tolerantes a acidentes (*accident tolerant fuels*, ATF) como potencial camada de proteção de zircaloy contra a oxidação em eventos de perda de fluido refrigerante (*loss-of-coolant accidents*, LOCA). Em particular a liga equiatômica CoCrFeNiMn apresenta resistência significativa à formação de cavidades e bolhas. Barr *et al.* (Scripta Mater. 158, 2018, 80 – 84) recentemente estudaram a segregação induzida por irradiação (RIS) nessa liga com dano produzido por ions de Ni^{2+} com 3 MeV e fluência de 3×10^{15} ions cm^{-2} com dois níveis de dano (2 dpa e 3 dpa). A figura 1, extraída do artigo, mostra o arranjo experimental e a figura 2 mostra os resultados obtidos, considerando que os autores dispunham de um microscópio de varredura-transmissão com acessório para medição de composição pela técnica de EDS (espectroscopia de raios-X por dispersão de energia), responda:
 - a. Como você acredita que os resultados mostrados na figura 2 foram obtidos? Explique como você faria (vale 1,0 ponto)
 - b. Todos os componentes da liga tem aproximadamente o mesmo raio atômico, para justificar o RIS observado os autores propõem um mecanismo baseado no fato de que o manganês se difunde mais rapidamente que o cobalto (chamado de efeito Kirkendal inverso). Nesse modelo a espécie que se difunde mais rapidamente tende a ter sua concentração reduzida na proximidade dos sumidouros, enquanto que a espécie mais lenta tende a se concentrar próximo ao sumidouro. Como você supõe que diferenças de difusividade podem justificar a segregação de elementos para o contorno de grão (lembre-se que contornos de grão são sumidouros de intersticiais e de lacunas)? (vale 1,5 pontos)

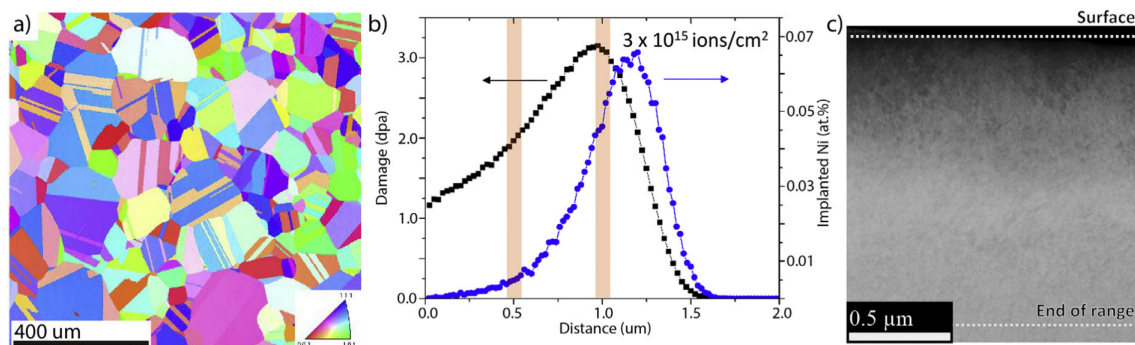


Figura 1: Descrição do procedimento experimental usado por Barr *et al.*: (a)- Imagem por EBSD da seção transversal da região implantada, (b) simulação por SRIM do dano produzido e da quantidade de Ni implantada em função da profundidade e (c) imagem da região implantada, mostrando a superfície e a distância correspondente ao fim da implantação.

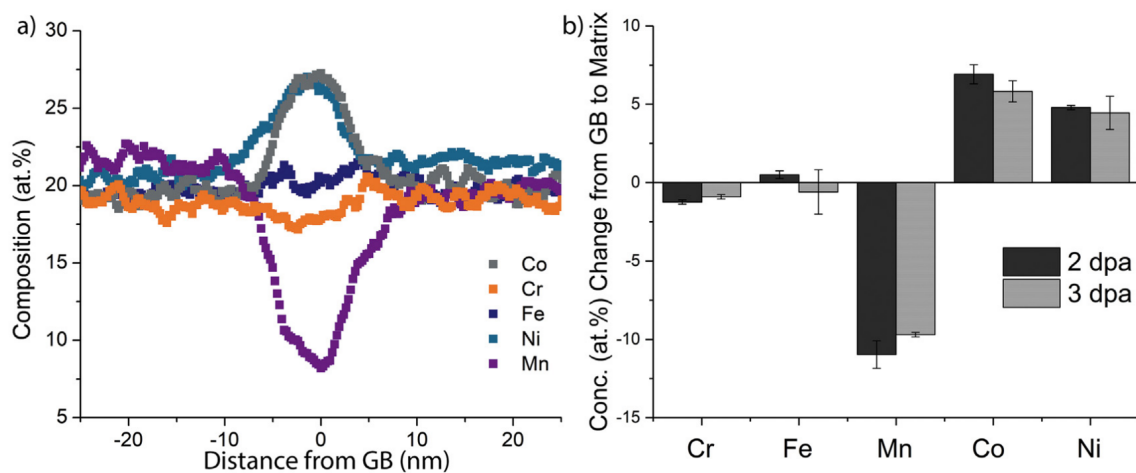


Figura 2: Resultados de Barr *et al.* para RIS na liga de alta entropia, mostrando em (a) os perfis de concentração e em (b) as diferenças de concentração dos componentes no contorno de grão em comparação com a matriz.

- 3 . A figura 3, reproduzida do livro do Was, mostra um resultado clássico de inchamento em níquel em função da temperatura de irradiação para uma fluência de 5×10^{19} nêutrons cm^{-2} . O que justifica a variação dimensional observada e por quê ela diminui, tanto a temperaturas altas, quanto baixas? (vale 2,5 pontos)
- 4 . Hidrogênio em zircônio forma hidretos (ZrH), recentemente Tunes *et al.* (J. Nuclear Mater. 493, 2017, 230 – 238) investigaram a estabilidade desses hidretos sob implantação *in situ*

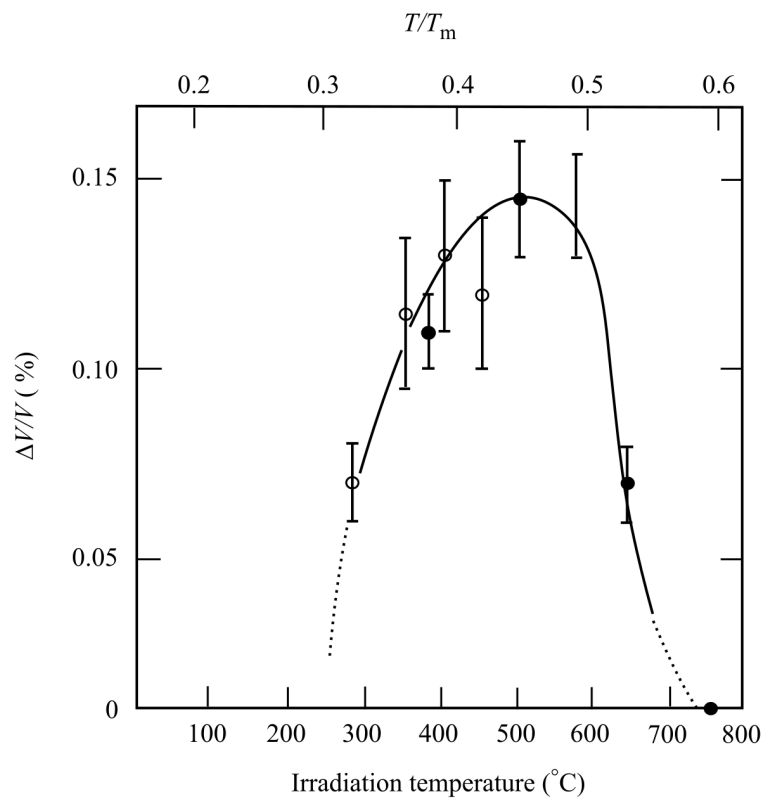


Figura 3: Inchamento em níquel irradiado com nêutrons, em função da temperatura.

de hélio com 3 keV e fluências de até $2,7 \times 10^{17}$ ions cm^{-2} em temperaturas de 298K a 1148 K. Os autores observaram dissolução assistida por irradiação a 473K, mas não a 298K. A dissolução está associada ao aparecimento de bolhas de He próximas à interface matriz-precipitado. Para explicar esse resultado, os autores propuseram o mecanismo representado na figura 4. Esses autores argumentam que a 298K apenas colisões diretas ocorrem enquanto que a 473K colisões com reposição são observadas, lembrem-se que o hidrogênio expuso para a matriz pode se difundir de volta para o precipitado. Usando a representação esquemática dos autores, explique como essa observação pode justificar como o aparecimento de um mecanismo adicional de difusão para o hélio permite levar à dissolução do precipitado a 473K, enquanto que o hidreto permaneça estável à temperatura ambiente (vale 2,5 pontos)

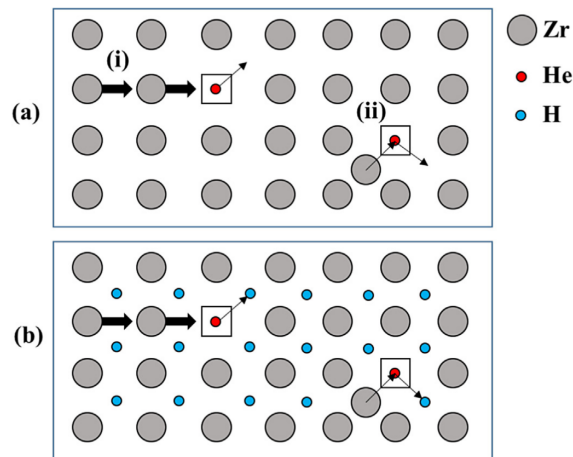


Figura 4: Modelo proposto por Tunes *et al.* para explicar a dissolução assistida de hidretos em zircaloy. Hélio previamente implantado se encontra associado a lacunas. Em (a) está representada a situação na matriz, com um evento de deslocamento (i) e um evento de deslocamento com reposição (ii). Em (b) se apresenta a situação equivalente no hidreto.

Formulário

- Condição de invisibilidade de uma discordância observada em um TEM:

$$\mathbf{b} \cdot \mathbf{g} = 0$$