

ZENER PINNING, RELAÇÃO DE HALL-PETCH, TAMANHO DE GRÃO DA AUSTENITA E MORFOLOGIAS DA FERRITA – PARTE I

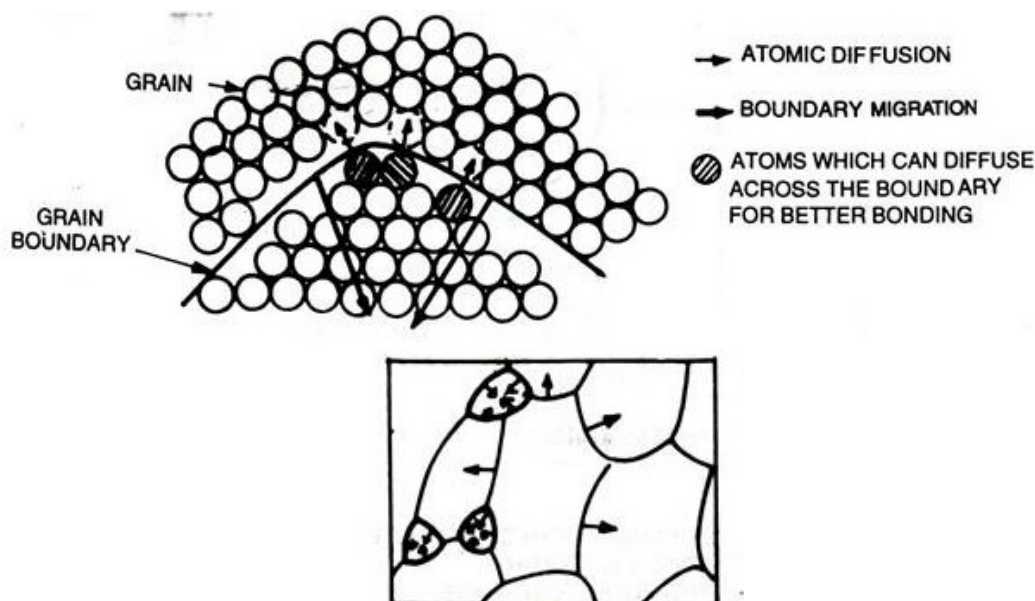
Metalurgista Industrial

junho 2020

www.metalurgistaindustrial.com.br

Contornos de grãos são defeitos cristalinos, e, como exposto na Resenha Técnica Recuperação, Recristalização e Crescimento de Grãos, estes crescem espontaneamente às expensas dos grãos menores que são menos estáveis, a menos que seja imposto um bloqueio. Esse é o papel, por exemplo, exercido pelos vanádio e nióbio nos aços de alta resistência e baixa liga. Ambos esses elementos provocam aumento da resistência por endurecimento por precipitação e refino de grãos. Tais tipos de aços são objeto de uma Resenha Técnica específica a este respeito.

O crescimento de grãos ocorre por difusão de átomos como ilustrado a seguir, um processo termicamente favorecido, pois relacionado com mobilidade atômica. Os átomos são mais estáveis nos grãos côncavos onde encontram uma maior quantidade de vizinhos, o que significa ligações (*atomic bondings*) mais fortes do que seria esperado em grãos convexos. Desse modo, os contornos movem-se para o centro de curvatura dos grãos como ilustrado mais abaixo.

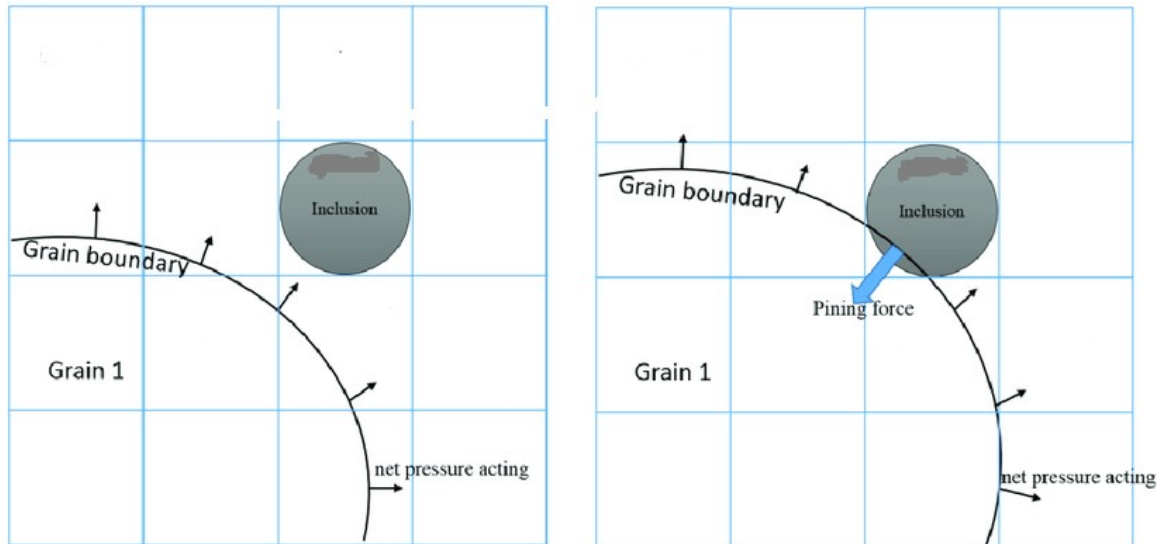


O propósito desta Resenha Técnica, dividida em duas partes, é reunir quatro assuntos relacionados com a questão da estrutura granular dos metais.

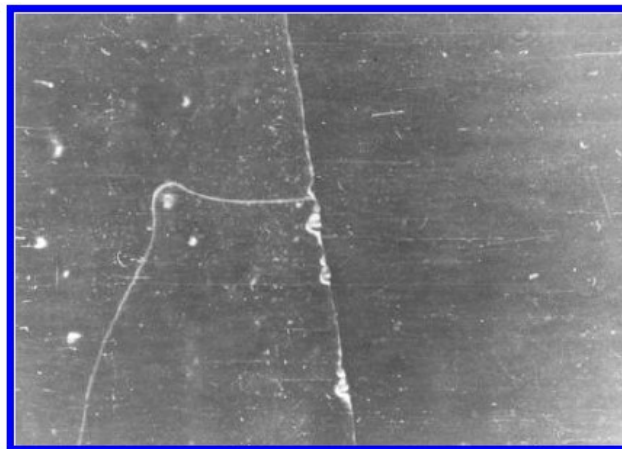
Zener pinning

Assim denominado pelas formulações de Clarence Zener, trata-se do fenômeno antes citado de prevenção do aumento dos tamanhos de grãos em um material policristalino por bloqueio promovido pela dispersão de partículas finas. Essas partículas exercem pressão de atrito que atua contra a força motriz provocadora do movimento dos contornos de grãos. Esse fenômeno de bloqueio, ilustrado na figura em prosseguimento, é atribuído à força atrativa entre a partícula e o contorno de grão, que se deve à redução deste contorno ou energia de interface pelo contato entre ambos.

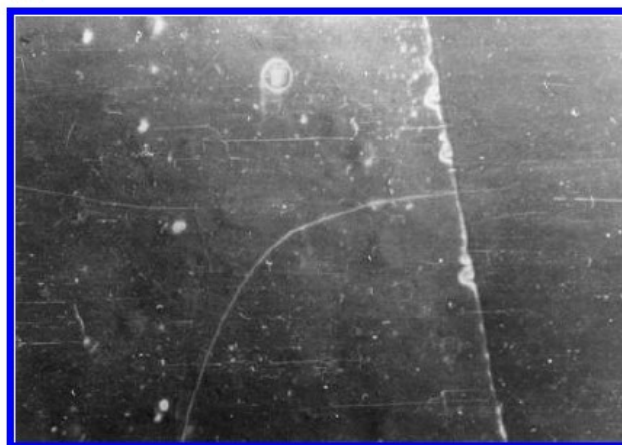
Essa força de atração é a chamada “força de Zener”, que surge quando uma partícula intersecta o contorno e ao tal fazer promove a eliminação da área do contorno. Quando o contorno atravessa uma partícula, a parte deste contorno que estaria dentro da partícula cessa de existir. Para que a partícula passe, um novo contorno deve ser criado, o que é energeticamente desfavorável.



Na imagem a seguir, um contorno de grão em movimento circunscreve uma partícula e deixa um contorno esférico para trás.



(a)



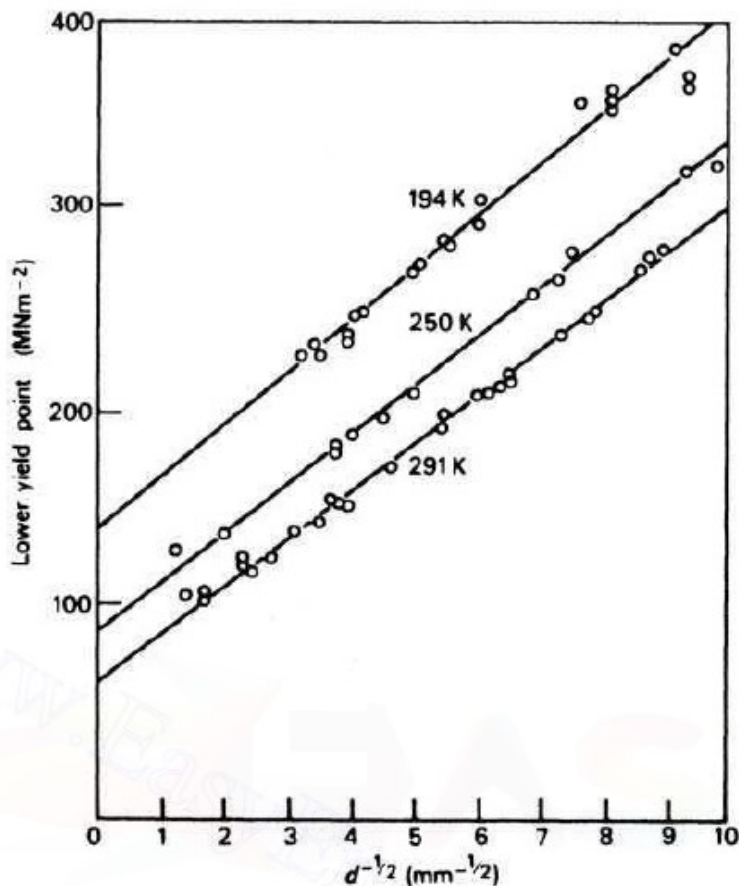
(b)

Relação de Hall-Petch

E. O. Hall e N.J. Petch propuseram uma relação entre tamanho de grão e resistência, tema este já abordado anteriormente na Resenha Técnica Tornando os Metais Mais Resistentes:

$$\sigma_y = \sigma_0 + K_y d^{-1/2}$$

Nessa relação, σ_y é a tensão de escoamento, σ_0 é uma constante dos materiais para a tensão de movimento das discordâncias (ou a resistência da rede para esse movimento), K_y é uma constante específica para cada material e d é o tamanho médio de grão. A relação de Hall-Petch prediz que à medida que o tamanho de grão decresce, o limite de escoamento aumenta. Um exemplo típico de resultados para um aço de baixo carbono é apresentado na figura a seguir a três temperaturas distintas.



As melhores propriedades mecânicas resultantes dos menores tamanhos de grãos resultam do efeito dos contornos que agem como obstáculos ao movimento das discordâncias. As discordâncias empilham-se contra os contornos de grãos. Quanto menores esses, mais frequente é o empilhamento e mais difícil se torna movê-las para provocar escoamento.

Uma outra maneira de interpretar o fenômeno é que em grãos maiores os empilhamentos contêm uma maior quantidade de discordâncias, propiciando uma maior força motriz para que estas se movam de um grão para outro. Então, torna-se necessária a aplicação de um esforço menor para mover discordâncias em um grão maior do que em um menor. Quando maior o tamanho do grão, mais fácil a propagação do processo de escoamento no grão seguinte.