

RECUPERAÇÃO, RECRISTALIZAÇÃO E CRESCIMENTO DE GRÃOS

Metalurgista Industrial

maio 2019

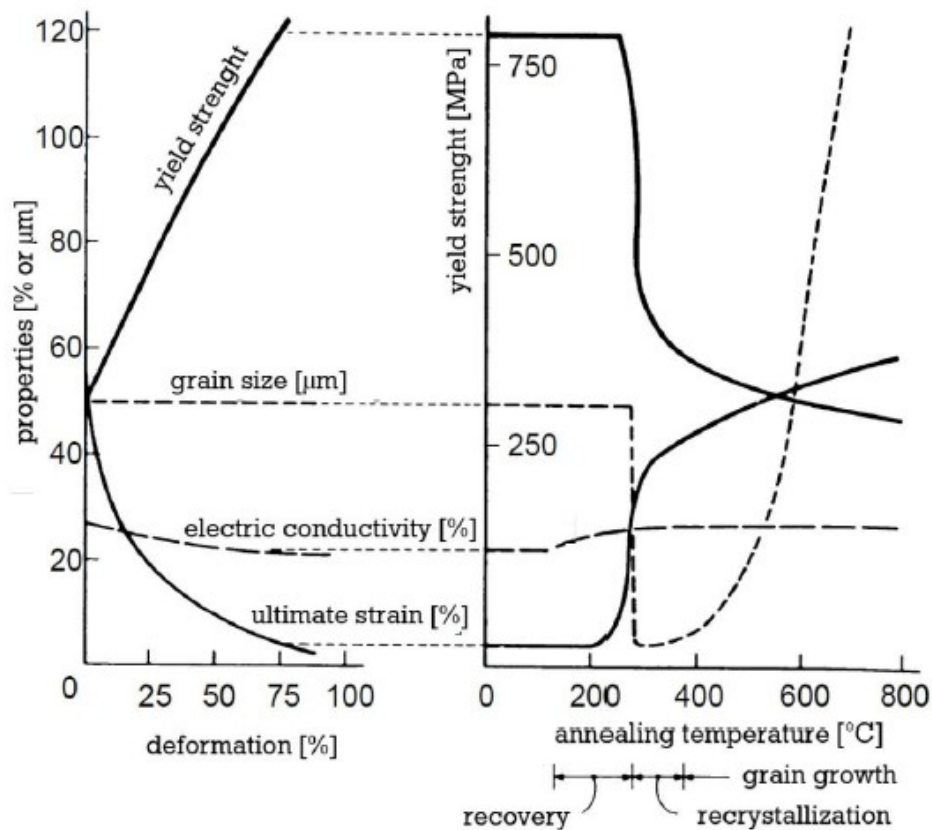
www.metalurgistaindustrial.com.br

Durante o trabalho a frio, a maior parte da energia dispendida aparece, além da deformação propriamente dita, como calor. Porém, uma pequena embora significativa parcela dessa energia aumenta a energia interna do metal. Esse aumento é associado com um aumento na densidade de discordâncias e de defeitos pontuais. Com o trabalho a frio, os grãos se tornam distorcidos e alongados no sentido deste trabalho. O resultado é o aumento da resistência do metal. Quanto mais intenso for o trabalho a frio, mais difícil é deformar o metal em sequência, sempre com prejuízo da ductilidade. Esse fenômeno é denominado encruamento.

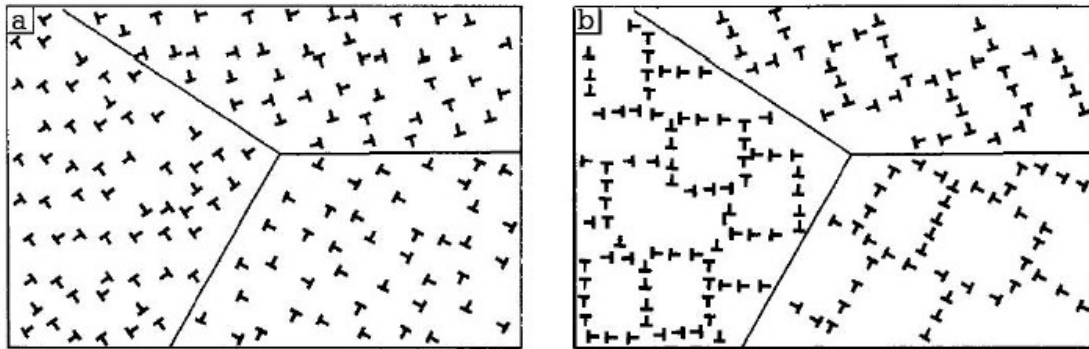
A maneira de restaurar a ductilidade do metal é a de liberação da energia interna acumulada por meio do tratamento térmico de recozimento (*annealing*). Essa liberação envolve três etapas identificáveis: **recuperação**, **recristalização** e **crecimento de grãos**.

Quando um metal trabalhado a frio é aquecido, ocorrem gradualmente algumas mudanças nas propriedades sem alterações microestruturais pronunciadas. Isso é recuperação.

Quando ocorrem mudanças em outras propriedades acompanhadas de alterações microestruturais significativas é a recristalização.

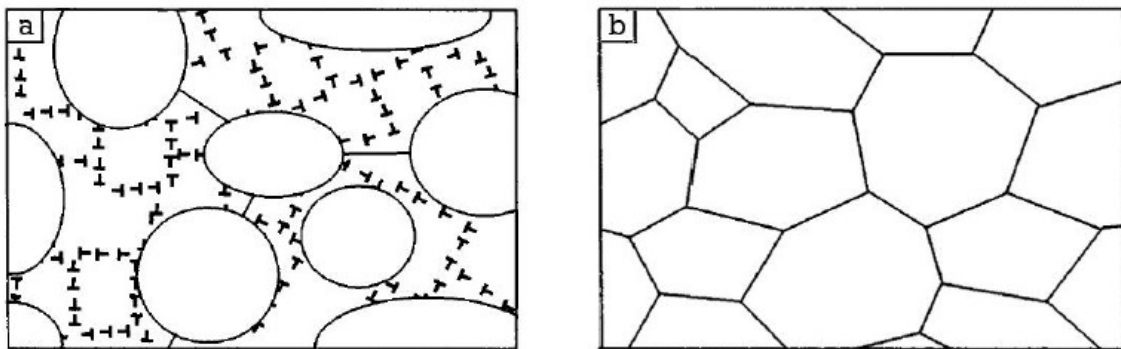


A recuperação já ocorre a relativamente baixas temperaturas e envolve o movimento e aniquilação de defeitos pontuais, bem como a aniquilação e rearranjo das discordâncias, o que conduz à formação de fronteiras de subgrãos.



Recristalização é o fenômeno da capacidade que os metais detêm de renovar sua microestrutura após sofrerem deformação plástica, por meio da formação de uma nova estrutura granular pela migração de fronteiras de grãos provocada pela energia de deformação estocada no material.

Enquanto que o processo de recuperação se inicia logo que é alcançada uma suficiente elevada temperatura, a recristalização demanda uma etapa de nucleação na qual são formados núcleos livres de deformação com contornos de grão móveis. Após a nucleação, os núcleos crescem às custas da microestrutura deformada com sua alta densidade de discordâncias.

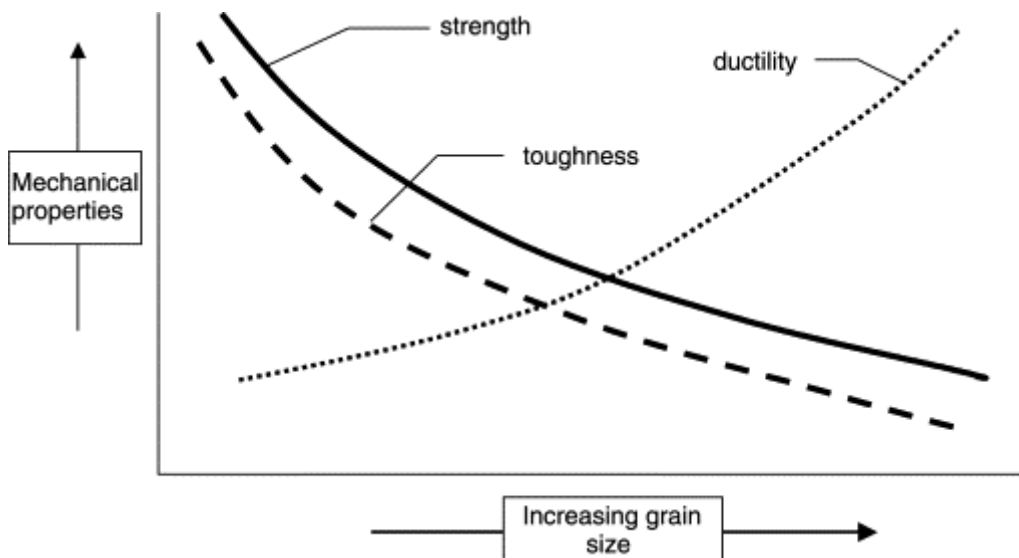


Formação de núcleo e crescimento (a) e microestrutura completamente recristalizada (b)

A menor temperatura na qual os grãos livres de deformação aparecem é a temperatura de recristalização, ao redor de 0,3 a 0,5 da temperatura de fusão. Quando essa recristalização primária é finalizada, se o material recristalizado prosseguir com o recozimento ocorre o crescimento dos grãos.

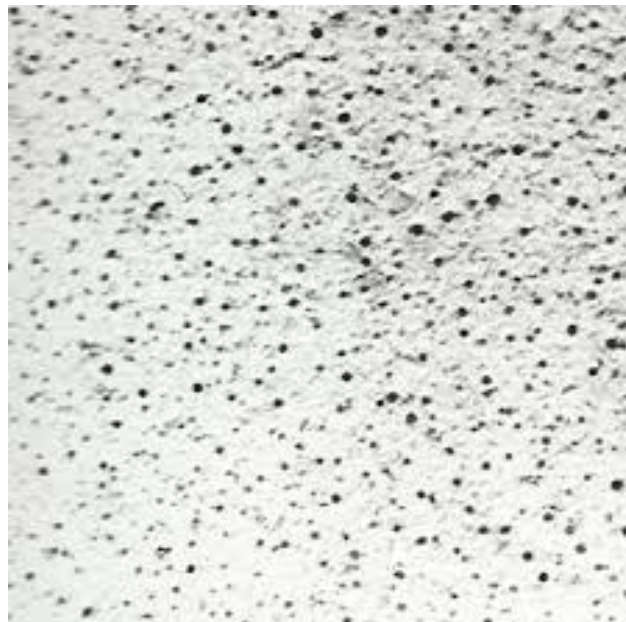
Os contornos entre os grãos recozidos migram e os grãos maiores crescem às expensas dos menores e o tamanho médio dos grãos aumenta. À medida que o tamanho de grão cresce, as áreas de contornos de grãos para um dado volume de material decrescem, uma condição energeticamente mais favorável.

Esse crescimento do tamanho de grãos afeta diretamente as propriedades mecânicas dos metais como mostrado na figura a seguir.



O mecanismo preventivo dessas perdas em resistência e tenacidade (*toughness*) é de impor um bloqueio ao crescimento de grãos. Tal é feito pela influência da dispersão de partículas finas no movimento dos contornos de grãos (*Zener pinning*).

Esse é o princípio adotado pela comercialmente bem-sucedida família dos aços de alta resistência e baixa liga (HSLA) ou microligados, os quais conferem sua superior resistência mecânica à dispersão na matriz de ferro de finos precipitados de carbeto, nitreto ou carbonitretos de elementos tais como vanádio, nióbio e titânio de forma isolada ou combinada.



Micrografia de um aço HSLA mostrando a dispersão de partículas