

Capítulo 8

Recuperação e recristalização durante a deformação a quente

F. Siciliano Jr.

1. Introdução

2. Recuperação Dinâmica

3. Recristalização Dinâmica

- 3.1 Nucleação em recristalização dinâmica
- 3.2 Recristalização dinâmica contínua e periódica
- 3.3 Influência da recristalização dinâmica no tamanho de grão
- 3.4 Efeito de átomos de soluto na recristalização dinâmica

4. Recristalização metadinâmica

5. Laminação controlada

6. Análise da curva de tensão média de escoamento em função da temperatura

- 6.1 Cálculo da TME

7. Modelamento matemático do processamento mecânico a quente

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos materiais metálicos passa em alguma etapa da sua fabricação por processos de deformação a quente para que sejam obtidos produtos como chapas, tubos, arames, entre outros. Nesses processos ocorrem várias alterações microestruturais simultâneas como encruamento, recuperação e recristalização. Os processos de recuperação e recristalização quando ocorrem durante a deformação são denominados *recuperação dinâmica* e *recristalização dinâmica*, respectivamente. Existem dificuldades experimentais para se observar esses processos na microestrutura. Observações da evolução microestrutural são muito difíceis de serem feitas simultaneamente com a deformação. Dessa forma, a recuperação dinâmica e a recristalização dinâmica são “observadas” indiretamente por curvas tensão-deformação obtidas em ensaios mecânicos a quente como tração, compressão e torção. Essa técnica de “observação” é chamada algumas vezes de “metalografia mecânica”.

Nesse texto, utiliza-se como medida de deformação a chamada *deformação verdadeira*, ϵ . Para laminação de planos, por exemplo, o valor da deformação verdadeira efetiva, segundo von Mises, é definido por:

$$\epsilon = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \left(\frac{h_i}{h_f} \right) \quad (1)$$

onde h_i e h_f são as espessuras iniciais e finais da chapa. Outras equações são utilizadas em outros métodos de deformação. A taxa (ou velocidade) de deformação média $\dot{\epsilon}$, por sua vez, é definida por:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\Delta t} \quad (2)$$

onde t é o tempo de deformação.

Os fenômenos denominados “dinâmicos” acontecem simultaneamente à deformação, quando o material está sob um campo de tensões e geralmente em alta temperatura. O parâmetro temperatura depende, obviamente, do material que está sendo considerado. Por exemplo: o chumbo recristaliza dinamicamente à temperatura ambiente. A Figura 1 mostra esquematicamente os mecanismos de recuperação e recristalização que ocorrem durante e imediatamente após a deformação.

Como mostrado na Figura 1, a ocorrência da recristalização dinâmica está relacionada com a energia de defeito de empilhamento (EDE) do metal considerado. Metais com alta EDE apresentam cinética de recuperação (estática e dinâmica) rápida, diminuindo a quantidade de defeitos cristalinos e conseqüentemente, o potencial termodinâmico para a recristalização. Por outro lado, metais com baixa EDE apresentam cinética de recuperação lenta e a quantidade de defeitos cristalinos sempre aumenta com a deformação. Dessa forma, a ocorrência da recristalização dinâmica é facilitada.

