

*Capítulo 1*

# **Heterogeneidades de deformação: uma visão macroscópica**

*P. R. Cetlin, C. A. dos Santos, M. T. P. Aguiar*

**1. Introdução**

**2. A Deformação Macroscopicamente Homogênea**

2.1 A tração pura

2.2 A compressão pura

**3. Heterogeneidades Macroscópicas de Deformação Inerentes ao Tipo de Carregamento**

3.1 A torção

3.2 O dobramento

**4. Heterogeneidades Macroscópicas de Deformação Associadas à Formação de Estricções**

**5. Heterogeneidades Macroscópicas de Deformação Associadas ao Atrito Matriz/Material**

**6. Heterogeneidades Macroscópicas de Deformação Associadas à Geometria do Processo**

**7. Heterogeneidades Macroscópicas de Deformação Associadas à Geometria do Processo e ao Atrito Matriz/Material**

## 1. INTRODUÇÃO

Boa parte da importância dos metais para o ser humano deriva-se de sua capacidade de sofrer deformação plástica através da aplicação de esforços. A obtenção de componentes com as mais variadas formas através desta técnica ocorre há mais de dois mil anos, progredindo desde os antigos ferreiros até as mais modernas forjarias, laminações, trefilarias, etc..

É importante lembrar que a deformação plástica não provoca somente a mudança de forma e de dimensões de componentes específicos, mas também importantes modificações nas propriedades dos materiais que estão sendo processados. No caso da deformação a frio, comumente ocorre um aumento na resistência mecânica (encruamento), acompanhado de queda na ductilidade e eventual aparecimento de trincas. Na deformação a quente, observam-se alterações microestruturais envolvendo processos de restauração estática e/ou dinâmica, precipitação, transformação de fases, etc.. Estes, pôr sua vez, correspondem a alterações nas propriedades dos produtos obtidos.

Do ponto de vista técnico, é importante quantificar o efeito da deformação plástica durante um processamento através do grau de deformação, sua velocidade, temperatura e história de deformação ("strain path"). Uma das dificuldades inerentes nessa quantificação é o grau de heterogeneidade dessas variáveis em um material durante o processamento. Essa heterogeneidade ocorre desde o nível macroscópico até o sub-microscópico. Isso traz profundas consequências sobre os resultados obtidos, especialmente do ponto de vista das propriedades finais atingidas.

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma análise das heterogeneidades macroscópicas de deformação durante o processamento envolvendo a deformação plástica.

## 2. A DEFORMAÇÃO MACROSCOPICAMENTE HOMOGENEA

Inicialmente, apresentam-se duas situações onde, em princípio, poderia ser obtida deformação homogênea: a tração e a compressão puras.

### 2.1 - A tração pura

A Figura 1 ilustra a tração de um material no estado inicial recozido, que foi alongado plasticamente desde o comprimento inicial  $L_0$  até o comprimento final  $L_F$ , mantendo sua forma prismática. Neste caso, a área da seção transversal da barra diminui de  $A_0$  para  $A_F$ , mantendo-se o volume da peça constante. A deformação é macroscopicamente homogênea ao longo de todo o comprimento do material, atingindo um valor  $\epsilon$  dado por:

$$\epsilon = \ln \frac{L_F}{L_0} = \ln \frac{A_0}{A_F} \quad (1)$$

Na tração homogênea, a deformação em qualquer ponto do material pode ser avaliada considerando-se as dimensões externas da peça antes e depois da tração. A equação 1 também fornece a deformação efetiva ou equivalente de von Mises ( $\epsilon_e$ ) [1].

