Análise numérica dos comportamentos mecânico e microestrutural da liga Al7075 deformada por tração uniaxial

Matheus A. D. Oliveira[1], Luciano P. Moreira[1], Neil de Medeiros[1]

[1]Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores 420, CEP 27255-125, Volta Redonda, RJ, Brasil.

Área: Metal

Resumo

Com o objetivo de analisar os comportamentos mecânico e microestrutural da liga de alumínio Al7075, foram realizadas simulações no programa de elementos finitos ABAQUS/Standard com um modelo de densidade de discordâncias para descrever o comportamento em tração uniaxial. Para tal, foram realizados três ensaios de tração à temperatura ambiente e velocidade constante de modo a possibilitar a identificação dos parâmetros que descrevem os efeitos de acumulo e aniquilação de discordâncias. Com bases nesta metodologia numérico-experimental, foi possível obter uma boa concordância entre as medidas e previsões numéricas de força e alongamento em tração uniaxial para a liga de alumínio Al7075 no estado recozido.

***Palavras-Chave:** Al7075, método dos elementos finitos, modelamento, densidade de discordâncias.*

Introdução e objetivos do trabalho

A liga de alumínio 7075 é aplicada na indústria aeroespacial graças a resistência mecânica e redução de peso. A microestrutura desta liga de alumínio é controlada por tratamentos térmicos com endurecimento por precipitação resultando em precipitados finos e dispersos na matriz. Componentes e equipamentos aeroespaciais produzidos com esta liga podem ser fabricados em processos de conformação por deformação mecânica com a liga em seu estado recozido. Neste contexto, convém compreender a evolução de propriedades mecânicas e microestruturais da liga 7075 quando sujeita a deformação plástica. O presente trabalho tem como objetivo analisar o encruamento em tração uniaxial de uma chapa da liga de alumínio 7075 no estado como recozido. Para descrever o comportamento plástico da liga, foram realizadas simulações numéricas do ensaio de tração uniaxial empregando-se o modelo de densidade de discordâncias de Kocks-Mecking [1-2]. Os parâmetros deste modelo foram obtidos a partir dos resultados experimentais de força-alongamento em tração.

Procedimento Experimental

Uma liga de alumínio comercial Al7075 no estado recozido -O foi utilizada nesta pesquisa. Para determinar as suas propriedades mecânicas, amostras foram usinadas com dimensões indicadas na Figura 1. Foram conduzidos três ensaios de tração uniaxial empregando uma velocidade constante de 1 mm/min [3].

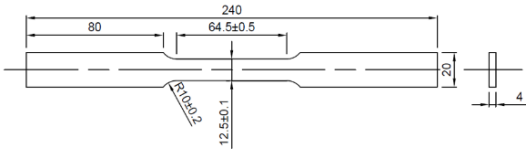

Figura 1. Dimensões do corpo de prova.

Modelamento

O modelo de densidade de discordâncias de Kocks e Mecking [1-2], doravante modelo K-M, foi adotado para descrever o comportamento plástico da liga de Al 7075. Neste tipo de modelo, a taxa de encruamento pode ser definida por:

$$\theta = \frac{d\bar{\sigma}}{d\bar{\varepsilon}} = \left(\dot{\bar{\varepsilon}}/\hat{\dot{\varepsilon}}\right)^{1/m}\theta_0\left[1-\bar{\sigma}/\bar{\sigma}_s\right] \qquad (1)$$

em função dos valores da taxa inicial de encruamento, θ_0, e da tensão de saturação, $\bar{\sigma}_s$. Na Eq. (1), o termo $\left(\dot{\bar{\varepsilon}}/\hat{\dot{\varepsilon}}\right)^{1/m}$ descreve a sensibilidade a taxa de deformação $\dot{\bar{\varepsilon}}$ em função de uma taxa de deformação de referência, $\hat{\dot{\varepsilon}}$, e do expoente m. No modelo K-M, a evolução da densidade de discordâncias ρ em função da deformação plástica equivalente é definida por:

$$\frac{d\rho}{d\bar{\varepsilon}} = M\left[k_1\sqrt{\rho} - k_2\rho\right] \qquad (2)$$

na qual k_1 e k_2 são as constantes que descrevem os termos de geração (ρ^+) e aniquilação (ρ^-) de discordâncias, respectivamente:

$$k_1 = \frac{2\theta_0}{M^2\alpha G b}\ ;\ k_2 = \frac{M\alpha G b k_1}{\hat{\sigma}_s} \qquad (3)$$

enquanto M é o fator de Tayor, α é uma constante, G é o módulo de cisalhamento e $\hat{\sigma}_s$ é a tensão de saturação obtida para $\theta = 0$.

As simulações do ensaio de tração uniaxial foram realizadas no programa comercial de elementos finitos ABAQUS/Standard com a sub-rotina UserMaterial. Nesta sub-rotina o modelo de K-M foi implementado com bases na teoria de pequenas deformações com elasticidade linear isotrópica e encruamento isotrópico definido pela função de escoamento de von Mises.

Resultados e Discussão

Para identificar os parâmetros do modelo K-M, as curvas de tensão-deformação verdadeiras (σ-ε) foram derivadas com bases na equação de encruamento de Voce. Observa-se na Figura 2 que a taxa de encruamento (dσ/dε) descrita pelo ajuste de Voce é uma reta que ao ser extrapolada ora para σ = 0, definindo assim o valor de θ_0, e ora para dσ/dε = 0, fornece o valor de $\hat{\sigma}_s$.

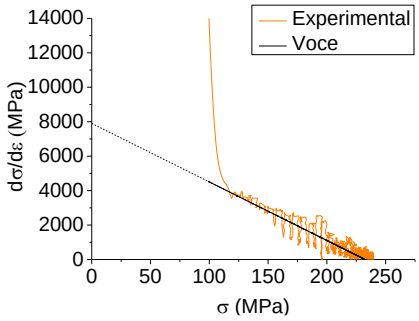

Figura 2. Comparação entre a taxa de encruamento experimental e a derivada analítica em função da tensão verdadeira.

A descrição do comportamento plástico da liga Al7075 fica definida pelo valor inicial da densidade de discordâncias (5x 10^7 mm^{-2}) e pelos valores experimentais de θ_0 , $\hat{\sigma}_s$ e G, assim como pelas constantes listadas na Tabela 1. A partir dos valores experimentais obtidos nos três ensaios realizados foram calculas as constantes k1 e k2 e para avaliar o melhor conjunto de parâmetros foi calculado o erro quadrático médio em relação à média das curvas experimentais.

Tabela 1. Constantes materiais adotadas. [1]

M	m	α	b (mm)
3.06	500	0.33	$2{,}56x10^{-7}$

Tabela 2. Erro quadrático médio das simulações.

Simulação	k1	k2	EQM
1	663407,93	22,208453	129,6627
2	650569,14	21,542345	220,5059
3	655643,74	21,303610	143,2925

Observa-se na Figura 3 que curva força-deslocamento prevista pela simulação numérica se aproxima bem aos resultados experimentais até um valor de alongamento próximo a 5 mm.

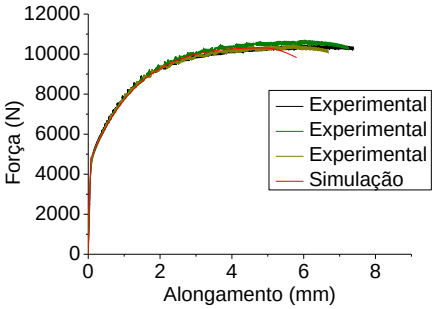

Figura 3. Curvas força-alongamento em tração: resultados experimentais e numéricos.

A Figura 4 apresenta a evolução da densidade de discordâncias em função do alongamento do corpo de prova até que alcance a saturação, onde é mostrada a distribuição da densidade de discordâncias no corpo de prova.

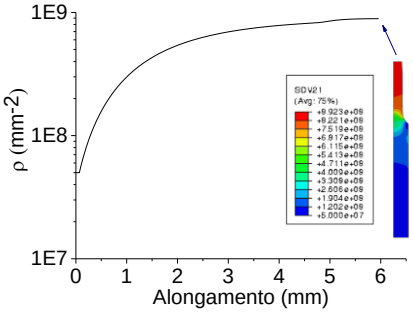

Figura 5. Evolução da densidade de discordâncias em função do alongamento.

Conclusões

As previsões numéricas de carga mostraram boa concordância com o comportamento experimental do material. Neste sentido, é possível estipular valores médios de densidade de discordâncias com base no modelo numérico e as constantes materiais aqui adotadas, para o material deformado em ensaios de tração ou para simulações de processos de conformação.

Agradecimentos

A CAPES, CNPq, FAPERJ e UFF.

[1] U. F. Kocks, “Laws for Work-Hardening and Low-Temperature Creep”, J. Eng. Mater. Technol, vol. 98, no 1, p. 76–85, 1976.
[2] H. Mecking e U. F. Kocks, “Kinetics of Flow and Strain-Hardening”, Acta Metallurgica Materialia, vol. 29, p. 1865–1875, 1981.
[3] ASTM E8 / E8M-16a, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. 2016.