



DESCRIÇÃO DO ENCRUAMENTO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS P439A E 304.

Naiara Cristina da Silva; Sonia A. G. de Oliveira

O processo de conformação de chapas metálicas utilizando métodos numéricos exige um bom conhecimento do modelo matemático, que represente a região plástica do material empregado. A exigência crescente de precisão nos resultados obtidos com programas de simulação numérica, motivada por questões econômicas ou relacionada com aspectos de qualidade, implica também na introdução de novos modelos constitutivos de encruamento ou mesmo na adaptação de antigos modelos. Existem diferentes leis de encruamento, no entanto, pesquisadores ainda divergem quanto as que melhor descrevem o comportamento plástico dos aços inoxidáveis.

Os aços inoxidáveis austeníticos dos quais o 304 (18%Cr-8%Ni) é o mais popular, têm excelente resistência à corrosão, excelente ductilidade e soldabilidade. A composição aço inoxidável ferrítico P439A é equivalente à do material UNS S43932 da norma ASTM A240. Como outros aços inoxidáveis ferríticos estabilizados, tem excelente soldabilidade e estampabilidade. Por ser um aço ferrítico, o ACE P439A mostra um alongamento bastante elevado no ensaio de tração. É um material com excelente desempenho nas operações de conformação mecânica, dobra e estampagem. Em geral, as características de endurecimento e alongamento dos aços inoxidáveis ferríticos são comparáveis às do aço carbono de alta resistência.

Neste trabalho apresenta-se uma metodologia para avaliação e determinação de parâmetros, de leis de encruamento, tendo como objetos de estudo os aços inoxidáveis austenítico (304) e ferrítico (439A). Por meio de curvas tensão versus deformação, obtidas por ensaios de tração, foi possível calibrar, identificar parâmetros e avaliar diferentes leis de encruamento como: Hollomon, Swift, Voce, Ludwick, Misiólek e Ramberg-Osgood. Utilizou-se para tal, técnicas de otimização baseadas na minimização de um funcional.

Muitos metais quando deformados plasticamente, apresentam encruamento, portanto há aumento da resistência devido às deformações plásticas. Na simulação da conformação mecânica dos metais, admite-se que a superfície de plasticidade do material evolui, expandindo-se isotropicamente (encruamento isotrópico) em função do trabalho plástico, sobrepondo-se a este efeito, algumas vezes, um deslocamento da superfície no espaço de tensões (encruamento cinemático). Para simulação numérica do processo de conformação de metais a temperatura ambiente e com baixas taxas de deformação são empregadas equações constitutivas em que o efeito da temperatura causado pelo trabalho plástico no fluxo de tensões pode ser negligenciado.

Para caracterização dos aços inoxidáveis 304 e 439A foram realizados ensaios de tração, em diferentes orientações relativas à direção de laminação (0°, 45° e 90°). Por meio dos ensaios de tração, obteve-se a curva tensão versus deformação convencional, nas diferentes direções com referência a de laminação.

A Figura 1 indica que o encruamento do aço inoxidável austenítico 304 na direção de laminação foi melhor descrito pela equação de Ludwick, como já é sugerido por alguns autores como Antunes e Antunes (2007), apresentando um erro médio quadrático normalizado, conforme Eq.(1) igual a 0,0241%. Para as outras direções diagonal e transversal relativas à de laminação, a lei que melhor se adaptou ao encruamento foi a de Misiólek. O aço inoxidável ferrítico 439A teve seu encruamento bem descrito pela Lei de Swift em todas as direções avaliadas. Sendo que o erro médio quadrático normalizado foi igual a 0,0090% para direção de laminação, 0,0118% para diagonal e 0,0123% para transversal, como mostra a Fig. 2.

$$\text{Erro Médio Quadrático Normalizado} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(\sigma_{anali} - \sigma_{exp})^2}}{\sum_{i=1}^n \sigma_{exp}} \% \quad (1)$$

Onde σ_{anali} corresponde as tensões obtidas pelas leis de encruamento, σ_{exp} são as tensões obtidas experimentalmente e n é o número de pontos analisados.

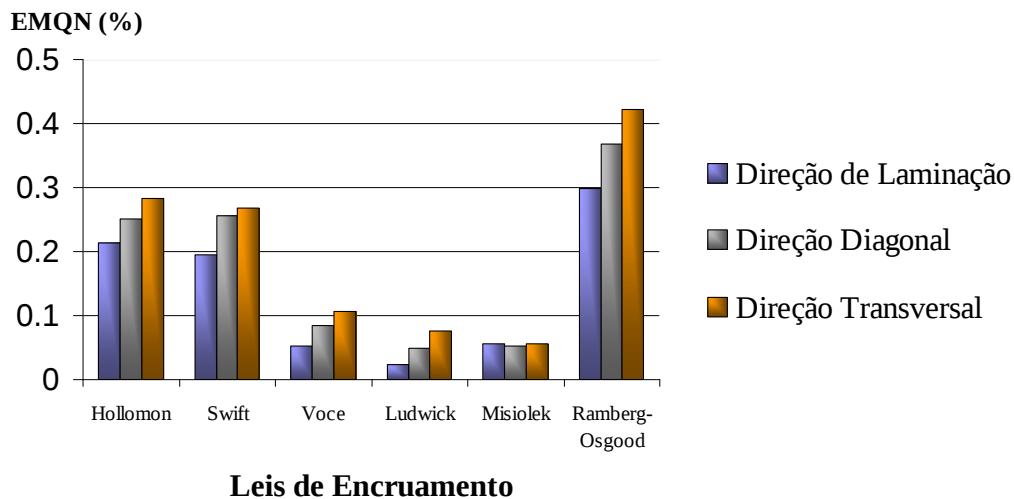


Figura 1: Erro Médio Quadrático Normalizado para diferentes Leis de Encruamento, para calibração do encruamento do aço inoxidável austenítico 304.

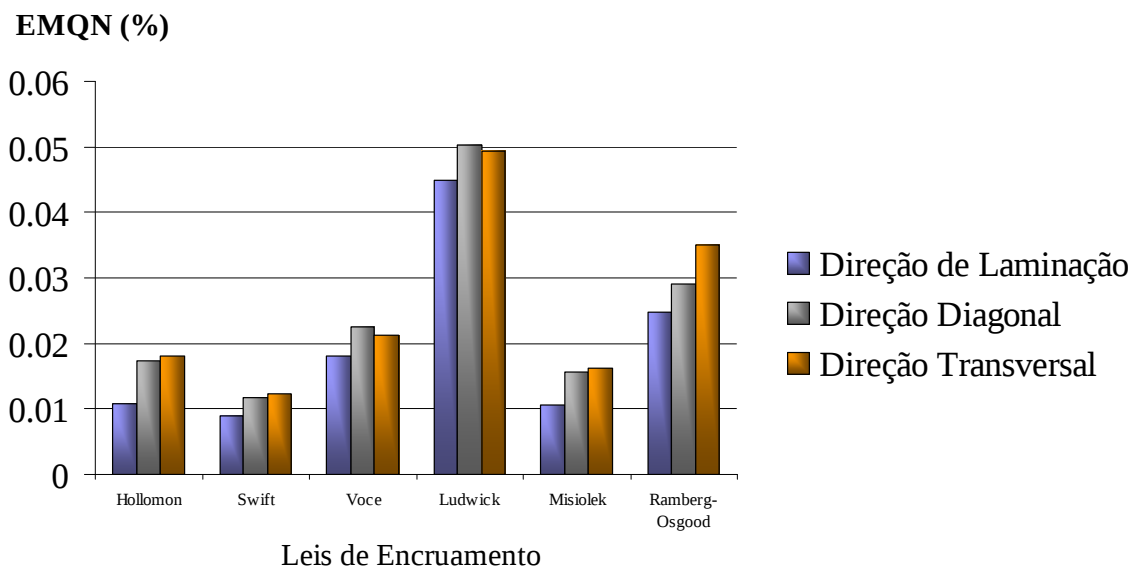


Figura 2: Erro Médio Quadrático Normalizado para diferentes Leis de Encruamento, para calibração do encruamento do aço inoxidável ferrítico 439A.

Verificou-se que as leis que melhor se ajustaram aos dados experimentais para os aços inoxidáveis 304 e 439A foram respectivamente Ludwick e Swift.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, AB., ANTUNES, L.M.D., Comportamento Plástico do Aço Inoxidável Austenítico em Baixa Temperatura, **Rev. Esc. Minas**, v.60, nº1, pp.141-147, 2007.