cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Influência do Encruamento e da Microestrutura nos Processos de Conformação de Arames SAE 1006 Trefilados

Beatriz dos Santos Souza[1]; Silvana Patrícia Verona[1]; Dalmarino Setti[1]; Maria Nalu Verona[1]

1.DAMEC - UTFPR, Campus Pato Branco

Introdução

A ductilidade dos aços baixo carbono favorece a aplicação em processos de conformação mecânica. Arames de aço SAE 1006 são utilizados na fabricação de trempes para fogões devido à boa conformabilidade e ao custo-benefício.[1] Todavia, variações na taxa de deformação nas etapas de trefilação podem alterar o grau de encruamento e as propriedades mecânicas e microestruturais dos arames[2] . Essas alterações, podem comprometer o desempenho durante a dobra e contribuir para a ocorrência de empenamento.

Objetivos

Avaliar a influência do encruamento nas propriedades mecânicas e microestruturais de arames trefilados SAE 1006, comparando lotes com e sem empenamento na dobra de trempes. Analisar limite de escoamento, resistência à tração, deformação plástica, microdureza, tamanho de grão e expoente de encruamento (n), buscando identificar parâmetros associados à estabilidade dimensional das peças.

Metodologia

Foram analisadas amostras de 3 diferentes lotes com e sem ocorrência de empenamento no processo de fabricação. A caracterização foi feita por: análise metalográfica por M.O longitudinal e transversal à direção de trefilação e tamanho de grão pelo método planimétrico com *software* ImageJ. A dureza HRB foi obtida pela conversão da microdureza Vickers. Para o ensaio de tração, foi utilizada a norma ABNT NBR 6207:2024 e os arames foram padronizados com 180 mm e o extensômetro de 50 mm. As curvas foram tratadas no OriginLab para obtenção do expoente n pelo método de Hollomon[3].

Resultados e Discussão

Os resultados indicam uma clara correlação entre o estado microestrutural dos arames trefilados e suas respectivas respostas mecânicas e dimensionais após o dobramento. O lote A, sem empenamento, apresenta uma estrutura severamente encruada (n=0,0411), grãos maiores e severamente alongados, dureza de 88 HRB, e

Tabela 1. Dados obtidos para os lotes A, B e C.

Lote	Tamanho de Grão ASTM	Morfologia dos Grãos	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Dureza (HRB)	Expoente de Encruamento (n)	Comportamento no Dobramento
A	8,45-8,76	Severamente alongados / Texturizados	690,9	729,6	88	0,04	Estável (Sem Empenamento)
B	7,07-7,97	Parcialmente equiaxiais / aliviados	600,2	677,5	76	0,08	Instável (Com Empenamento)
C	6,77-7,84	Nitidamente equiaxiais / recristalizados	469,9	512,7	81	0,06	Instável (Com Empenamento)

tensão de escoamento de ≈ 700 MPa, conferindo alta rigidez plástica. Essa condição confina a deformação plástica ao raio planejado e garante um alívio simétrico de tensões residuais (*springback* previsível). Em contrapartida, os Lotes B e C empenaram. O lote B (grãos 7,07-7,084) possuem grãos mais equiaxiais/aliviados, menores resistências e dureza e estruturas aliviadas com maior capacidade de endurecimento posterior (n de 0,0776 e 0,0598). O empenamento do lote C decorre do baixo limite de escoamento que permitiu a propagação de micro deformações plásticas fora da zona de dobra, gerando deformações parasitas assimétricas e consequente torção tridimensional.

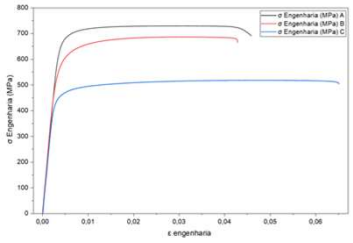


Figura 1. Curva σ x ε para os lotes A, B e C.

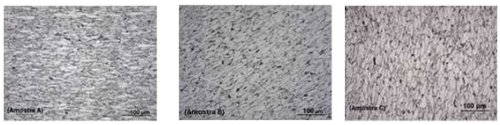


Figura 2. Micrografia por MO das 3 amostras com 200x.

Conclusões

A estabilidade na conformação de arames trefilados depende do controle entre propriedades mecânicas, encruamento e homogeneidade microestrutural. A instabilidade dos lotes B e C mostra que materiais com baixa resistência e grãos equiaxiais são suscetíveis a empenamento. Assim, a caracterização mecânica e metalográfica fornecem informações importantes para estabelecer faixas de referências para reduzir falhas na etapa de conformação.

Referências e Agradecimentos

[1] CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7ª.ed. São Paulo: ABM, 2005.[2] AZZEDDINE, H.; ZAVDOVEEV, A.; BRISSET, F.; MOTRUNICH, S.; PASHINSKA, O. G.; BAUDIN, T. EBSD analysis and mechanical properties of low-carbon steel during drawing with shear deformation. **Materials Today Communications**, v. 40, artigo 110100, 2024. [3] PINTO, D. F.; PINTO, M. A.; PINTO, P. R.; COSTA, A. R. da. Validation of a simplified computer simulation method for plastic forming of metals by conventional tensile tests. **REM – International Engineering Journal**, Ouro Preto, v. 70, n. 4, p. 437- 443, out./dez. 2017.

Agradecemos o apoio da UTFPR-campus Pato Branco (bolsa PIBIT), FUNTEF PR, LaEMSE-UTFPR PB .