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

Resposta mecânica e transformações microestruturais em aço perlítico submetido ao forjamento multidirecional de alta amplitude de deformação

Juliana Maria Silva Teles[1]; Alex Rodrigue Borges[2]; Paulo Roberto Cetlin[3]; Paula Cibely Alves Flausino[1];Taise Matte Manhabosco[1]; Nayara Aparecida Neres da Silva[1].

1.Universidade Federal de Ouro Preto; 2. Instituto Federal de Minas Gerais. 3. Universidade Federal de Minas Gerais

Introdução

A deformação plástica severa (*Severe Plastic Deformation* - SPD) reúne técnicas capazes de impor elevados níveis de deformação aos materiais metálicos, promovendo modificações microestruturais significativas e refinamento da estrutura. Entre essas técnicas, o forjamento multidirecional (*Multidirectional Forging* - MDF) destaca-se pela simplicidade de execução e pela possibilidade de acumular grandes deformações por meio de compressões sucessivas em diferentes direções [2]. Em aços perlíticos, a morfologia e a distribuição das lamelas de ferrita e cementita, influenciam diretamente o comportamento mecânico do material [3]. Nesse contexto, compreender a evolução microestrutural em função da amplitude de deformação é fundamental para avaliar a resposta do aço ao processamento por MDF.

Objetivos

Avaliar a evolução microestrutural e o comportamento mecânico de um aço eutetóide SAE 1080 submetido a diferentes estágios de processamento (1, 2, 3, 4 e 5 ciclos) por forjamento multidirecional em alta amplitude de deformação ($\Delta\varepsilon \approx 0{,}80$).

Metodologia



Figura 1. Representação esquemática das etapas experimentais: (1) processamento por MDF; (2) sequência de compressões durante um ciclo; (3) preparação metalográfica; e (4) caracterização microestrutural e do comportamento mecânico.

Resultados e Discussão

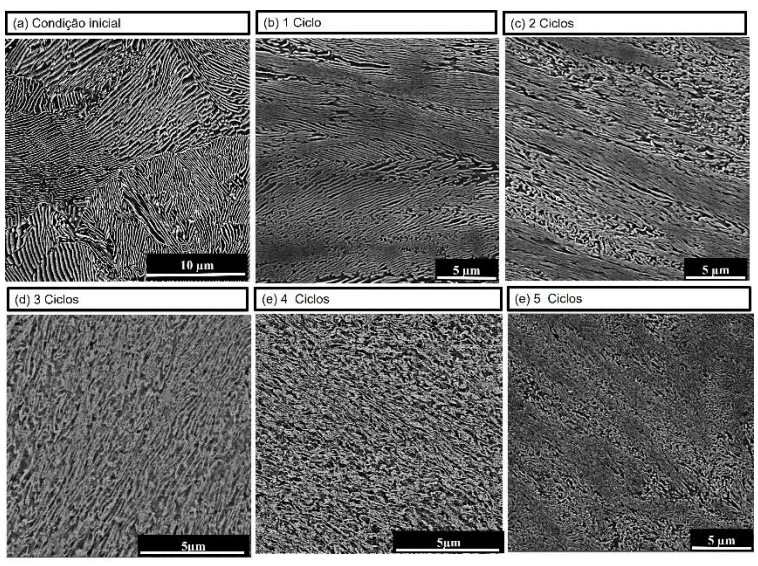


Figura 2. Imagens via MEV de amostras de aço SAE 1080 na condição como recebida (a) $\varepsilon \approx 0$ e processadas por MDF de $\Delta\varepsilon \approx 0.80$ até uma deformação acumulada de (b) 2,4; (c) 4,8 e (d) 7,2; (e) 9,6 e (f) 12,0.

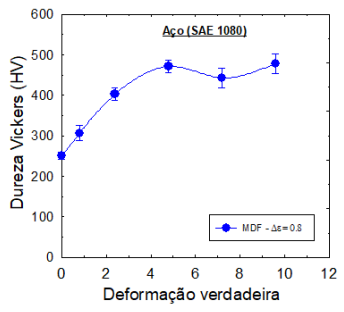


Figura 3. Variação da microdureza Vickers (HV) em função da deformação verdadeira acumulada durante o forjamento multidirecional (MDF) do aço SAE 1080.

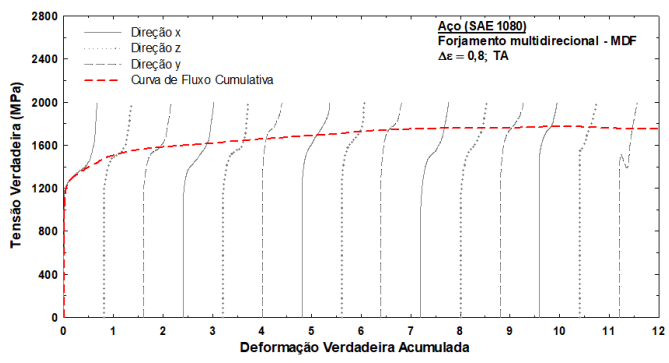


Figura 4. Curvas tensão verdadeira x deformação verdadeira e curva de fluxo cumulativa para o aço SAE 1080 processado por até 5 ciclos de $MDF_{0.80}$.

Número de Ciclos	ε	σy (MPa)
0	0	202
1	2,4	1157
2	4,8	1295
3	7,2	1320
4	9,6	1215
5	12,0	-

Tabela 1. Limite de escoamento a 0,2% de deformação (σ_y) em compressão para o aço SAE 1080 como recebido e processado por até 5 ciclos de $MDF_{0,8}$.

Conclusões

- O processamento por $MDF_{0,80}$ promoveu intenso refinamento microestrutural, acompanhado pela perda progressiva das características morfológicas da perlita com o aumento da deformação acumulada.
- O processamento promoveu aumento progressivo dos valores de dureza ao longo dos ciclos de MDF.
- As curvas tensão-deformação ($\sigma \times \varepsilon$) individuais evidenciaram diferenças na resposta mecânica entre as direções de carregamento (X, Y e Z). A curva de fluxo cumulativa apresentou redução da taxa de encruamento a partir do segundo ciclo, sem atingir, contudo, a estabilização após cinco ciclos de processamento.
- A fratura durante o primeiro passe do sexto ciclo estabeleceu o limite de processamento por MDF nas condições investigadas.

Referências e Agradecimentos

1. Zhilyaev AP, Langdon TG. Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications. *Prog Mater Sci* 2008; 53: 893–979.
2. Zhilyaev AP, Langdon TG. Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications. *Prog Mater Sci* 2008; 53: 893–979.
3. Langford G. Deformation of pearlite. *Metall Trans A* 1977; 8A: 861–875.

FAPEMIG LED UFOP Fundação GORCEIX CNPq CAPES REDEMAT