

# Caracterização microestrutural de bandas de cisalhamento adiabáticas num aço IF estabilizado ao titânio

(Microstructural characterization of adiabatic shear bands in a titanium-stabilized interstitial free steel)

Jefferson Fabrício Cardoso Lins

*Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia de Química de Lorena como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutorado*  
*Área de Concentração: Materiais Metálicos, Cerâmicos e Poliméricos. E-mail: jfclins@pq.cnpq.br*

## Resumo

O presente trabalho reporta os principais resultados da caracterização microestrutural e textural realizada em bandas de cisalhamento adiabáticas induzidas num aço IF (*Interstitial Free*) estabilizado ao titânio. O material foi deformado via compressão dinâmica sob altas taxas de deformação numa barra de impacto Hopkinson. Amostras cilíndricas com formato de “chapéu” foram submetidas a taxas de deformação que variaram entre  $1,0 \times 10^4$  e  $7,9 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$  sob condições controladas. Os testes foram conduzidos em três temperaturas distintas:  $-196^\circ\text{C}$ ,  $-50^\circ\text{C}$  e  $25^\circ\text{C}$ . A caracterização microestrutural foi realizada com o auxílio das técnicas de microscopia ótica (MO), eletrônica de varredura (MEV) e de transmissão (MET). Os mapas de orientação das regiões cisalhadas foram realizados com o auxílio da técnica de difração de elétrons retroespalhados (EBSD) convencional e de alta resolução. Medidas de microdureza Vickers foram realizadas ao longo das microrregiões cisalhadas e no material de partida. A placa de aço IF na condição inicial possuía uma textura bastante fraca e aleatória. A morfologia e a largura das bandas de cisalhamento foram avaliadas em detalhes. A largura das bandas variou de  $40 \mu\text{m}$  até cerca de

$270 \mu\text{m}$ . Na maioria dos casos, a microestrutura da banda de cisalhamento consiste de uma estrutura lamelar bastante fina, com a espessura das lamelas variando entre  $0,2$  e  $0,5 \mu\text{m}$ . Além disso, também foi possível determinar a textura local no interior das bandas e nos grãos adjacentes. Maclas de deformação foram observadas nos grãos vizinhos à banda de cisalhamento. Evidências microestruturais sugerem que essas maclas formaram-se antes da banda, indicando a existência de uma hierarquia bem definida de eventos durante a deformação. Foram observadas texturas dos tipos fibra- $\gamma$  e fibra- $\alpha$  no interior das bandas nas três temperaturas investigadas. O mecanismo de recristalização dinâmica rotacional pode explicar o surgimento da nova estrutura de grãos ultrafinos ( $0,1$ - $0,5 \mu\text{m}$ ) observada no interior das bandas de cisalhamento. A presença de subgrãos alongados e também de grãos perfeitamente alinhados em regiões que lembravam lamelas preexistentes no interior da banda são evidências que corroboram a ocorrência desse mecanismo.

**Palavras-chave:** Bandas de cisalhamento adiabáticas, ensaio de compressão dinâmica, EBSD, textura cristalográfica.

## Abstract

The present work reports the main results of the textural and microstructural characterization performed in shock-induced adiabatic shear bands in a titanium-stabilized interstitial-free steel. The material was dynamically compressed in a split Hopkinson bar at high strain rates. Cylindrical hat-shaped specimens were strained at strain rates varying from  $1.0 \times 10^4$  to  $7.9 \times 10^4$   $s^{-1}$ . The tests were carried out at temperatures of  $-196$  °C,  $-50$  °C, and  $25$  °C. Light optical microscopy (LOM), scanning electron microscopy (SEM), and transmission electron microscopy (TEM) were employed to perform the microstructural characterization. Orientation Imaging Microscopy (OIM) maps of the shear regions were obtained with aid of conventional and high-resolution Electron Backscatter Diffraction (EBSD) techniques. Vickers microhardness testing was done in the vicinity and within shear bands and in the starting material. Results show a weak and diffuse (random) texture in the IF-steel plate (initial state). A detailed investigation on the morphology of the adiabatic shear bands was conducted. The width of the shear bands varied from

$40 \mu m$  to about  $270 \mu m$ . In most of the cases, the microstructure of the adiabatic shear bands consists of a fine lamellar structure. The thickness of the lamellae is about  $0.2-0.5 \mu m$ . Furthermore, the local texture within bands and in the neighboring grains was determined. Deformation twins were observed in the vicinity of the shear bands. Microstructural evidence suggests mechanical twinning occurs before the flow associated to shear banding indicating a well-defined hierarchy of the events during straining. Independent of the test temperature  $\gamma$ - and  $\alpha$ -fiber texture components are found within shear bands. Dynamic rotational recrystallization is a plausible mechanism to explain the development of a new structure consisting of ultrafine grains ( $0.1-0.5 \mu m$ ) within shears bands. The presence of elongated subgrains and grains perfectly aligned within regions resembling a former lamellar structure within bands supports the occurrence of such a mechanism.

**Keywords:** Adiabatic shear bands, dynamic compression tests, EBSD, crystallographic texture.

Artigo recebido em 13/09/2007 e aprovado em 22/10/2007.



\*\*\*\*\*

REM - Revista Escola de Minas  
**71 anos**  
divulgando CIÊNCIA.

\*\*\*\*\*

[www.rem.com.br](http://www.rem.com.br)

\*\*\*\*\*