

COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS DE EXPANSÃO EM SÉRIE, WIMV E ADC NO CÁLCULO DAS FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE ORIENTAÇÃO CRISTALOGRÁFICA (FDOC) EM DIFERENTES INTENSIDADES DE TEXTURAS PARA UM AÇO IF¹

João Rodrigues de Barros Neto²
Luis Paulo Mourão dos Santos³
Waydson Martins Ferreira⁴
Isabel Ferreira de Barros⁵
Hamilton Ferreira Gomes de Abreu⁶

Resumo

Os grãos presentes na estrutura cristalina de um determinado material possuem orientações cristalográficas diferentes entre si, que podem estar concentradas ao redor de uma orientação preferencial ou textura. A representação da textura é feita através das figuras de pólos, estas são projeções estereográficas que mostram a distribuição de pólos ou normais ao plano de um determinado plano (hkl), usando os eixos da amostra como referência. A utilização das figuras de pólos não descreve completamente a textura, sendo então necessário a utilização da função de distribuição de orientações cristalográficas (FDOC) com o objetivo de especificar a frequência com a qual ocorrem determinadas orientações {hkl}<uvw> em um dado espaço. Alguns métodos são usados para o cálculo da FDOC, sendo os mais utilizados o método de expansão de séries e os métodos discretos - WIMV e ADC. Este trabalho visa comparar as FDOC's calculadas pelos três métodos em uma amostra de um aço IF laminado a frio com redução de 70% e uma amostra do mesmo aço na condição recristalizada usando os três diferentes métodos. Para isso foram utilizados os softwares PopLa®, M-TEX® e Labotex®. O artigo discute a adequabilidade de cada um dos diferentes métodos de cálculo.

Palavras-chaves: Textura; FDOC; Figura de pólo.

COMPARISON BETWEEN OF SERIES EXPANSION, WINV AND ADC METHODS IN THE MEASUREMENT OF THE ORIENTATION DISTRIBUTION FUNCTION (ODF) INTO DIFFERENT INTENSITY OF TEXTURE FOR A IF STEEL

Abstract

In grains present in the structure crystalline of material to own different crystallographic orientation between one and another it, that is can concentrated around into preferential orientation or texture. The texture representation is taking through of pole figure, it is stereographic projection that show the pole distribution or plane normal for a given plane (hkl), using the axis in the sample as reference. The pole figure does not describe the completely texture, so it is necessary to be use a orientation distribution function (ODF) with specify objective the frequency which of crystallographic orientation {hkl}<uvw> occur in the given region. There are some methods used for measure the ODF, being the most widely used the series expansion method and discrete – WINV and ADC methods. In this paper goal comparison the ODF measure by the three methods into IF steel 70% cold rolling and recrystallized condition. Then were used the follow software PopLa®, M-TEX® and Labotex®. The paper discusses suitability in the each method.

Key words: Texture; ODF; Pole figure.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro Metalúrgico, Mestrando em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

³ Químico Licenciado, Mestrando em Ciências e Eng. de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

⁴ Engenheiro Mecânico, Professor Assistente, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI, Brasil.

⁵ Engenheira de Produção Mecânica, Mestranda em Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

⁶ Engenheiro Naval, Professor Associado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os grãos presentes na estrutura cristalina de um determinado material possuem orientações cristalográficas diferentes entre si, que podem estar concentradas ao redor de uma orientação preferencial ou textura. A textura pode ser definida como sendo a condição na qual a distribuição de orientação é preferencial, portanto, não descreve a forma dos grãos, mas a sua orientação espacial.⁽¹⁾

A representação da textura se dá por meio da utilização de figuras de pólo. As figuras de pólo diretas são projeções estereográficas que mostram a distribuição de pólos ou normais de um determinado plano (hkl) específico, usando eixos da amostra como eixos de referência.⁽²⁾ Contudo, a utilização das figuras de pólo não descreve por completo a textura, sendo então necessária a utilização da função de distribuição de orientações cristalográfica (FDOC) para sua completa descrição. A equação fundamental de uma FDOC é dada por:⁽¹⁾

$$P_n(\gamma) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(g) d\gamma \quad \text{onde } \gamma = \{\alpha, \beta\}; \quad g = \{\varphi_1, \phi, \varphi_2\} \quad (1)$$

Onde α e β são ângulos de uma direção numa figura de pólo bidimensional e g são ângulos de rotação em torno dos eixos da amostra.⁽¹⁾ As funções de distribuição de orientação cristalográfica tem por objetivo especificar a frequência com a qual ocorrem determinadas orientações $\{hkl\}\langle uvw \rangle$ em um dado espaço tridimensional. Esse espaço tem suas coordenadas definidas por três ângulos de Euler, que consistem em um conjunto de três rotações consecutivas que precisam ser aplicadas a cada cristal para tornar os eixos da célula cristalina coincidentes com os eixos da amostra.^(1,3)

O cálculo das funções de distribuição de orientação cristalográfica pode ser feito a partir da utilização de determinados métodos, como o método de expansão de séries e os métodos discretos. Para utilizar o método de séries é necessário que haja a medição de três ou quatro figuras de pólo de cada fase, já o método discreto possibilita a obtenção de bons resultados utilizando cerca de uma ou duas figuras de pólo. Entre os métodos discretos, podem-se citar o método WIMV e o ADC.⁽¹⁾

Este trabalho visa comparar as FDOC's calculadas pelos três métodos em uma amostra de um aço IF laminado a frio com redução de 70% e uma amostra do mesmo aço na condição recristalizada usando os três diferentes métodos. Para isso foram utilizados os softwares PopLa®, M-TEX® e Labotex®. O artigo discute a adequabilidade de cada um dos diferentes métodos de cálculo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado no presente trabalho foi um aço IF estabilizado com Ti, cedido por uma Indústria siderúrgica, CSN – Companhia Siderúrgica Nacional. A composição química do aço IF é dada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço IF usado neste trabalho

C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	V	Ti	B
0,004	1,13	0,02	0,054	0,009	0,050	0,002	0,003	0,055	0,0017

As amostras do material foram fornecidos na forma de chapas finas com espessura de 1 mm. As chapas foram submetidas aos processos de laminação a frio e

recozimento. Na laminação a frio as chapas de aço IF estabilizados com Ti sofreram redução de 70% na sua espessura.

As amostras utilizadas se encontravam em dois estados diferentes:

- laminadas a frio, ou seja, completamente encruadas;
- laminadas a frio e recozidas, ou seja, completamente recristalizadas.

A medida de textura foi realizada utilizando a técnica de difração de raios-X, utilizou-se um difratômetro de raios-X da marca Phillips X'PET, com radiação de cobalto. As amostras foram reduzidas a meia espessura através de lixamento mecânico, em seguida mergulhadas numa solução de 5% de ácido fluorídrico e 95% de peróxido de hidrogênio, com o intuito de eliminar as deformações causadas pelo lixamento mecânico.

As análises de texturas foram realizadas através da FDOC, calculadas a partir das figuras de pólo obtidas pela difração de raios-X. Para o cálculo das FDOC's utilizou-se os *softwares* PopLa®, M-TEX® e Labotex®. O software PopLa® utiliza os métodos de expansão em séries harmônico e WINV, já o M-TEX® utiliza o método WINV e o Labotex® o método ADC.

Sendo que neste trabalho o software PopLa® foi utilizado apenas no método de expansão em séries harmônico.

3 RESULTADOS

A Figura 1 mostra FDOC's na seção de φ_2 em 45° , calculados pelo método de expansão em séries harmônicos usando o *software* PopLA®. Pode-se observar uma FDOC típica de um aço IF deformado a frio,⁽⁴⁾ comum a alta intensidade da fibra DL, $\{hkl\}\langle 110\rangle$, seguida da componente cubo girado ($\{001\}\langle 110\rangle$) e uma fraca fibra DN ($\{111\}\langle uvw\rangle$).

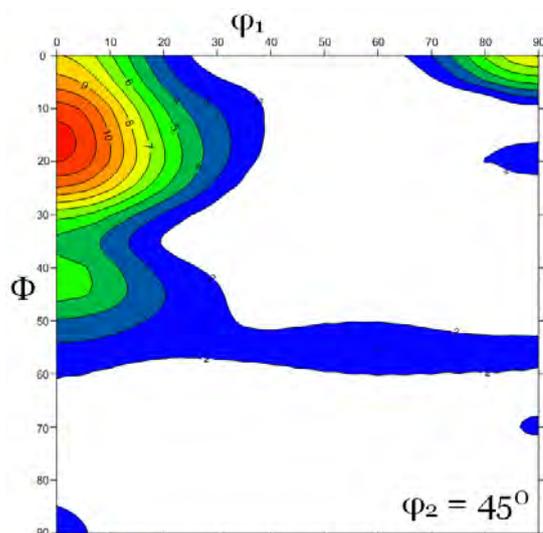


Figura 1. FDOC da seção de φ_2 em 45° para um aço IF laminada, obtida pelo software PopLA® utilizando o método de expansão em séries harmônico.

Na Figura 2 observa-se a FDOC, na seção de φ_2 em 45° , calculada usando o método direto WIMV. Na qual foram utilizados os mesmos dados no cálculo da FDOC da figura 1. Sendo essa FDOC muito semelhante ao calculado pelo método de expansão em séries harmônico, ou seja, uma FDOC típica de um aço IF deformado a frio com as características citadas acima.

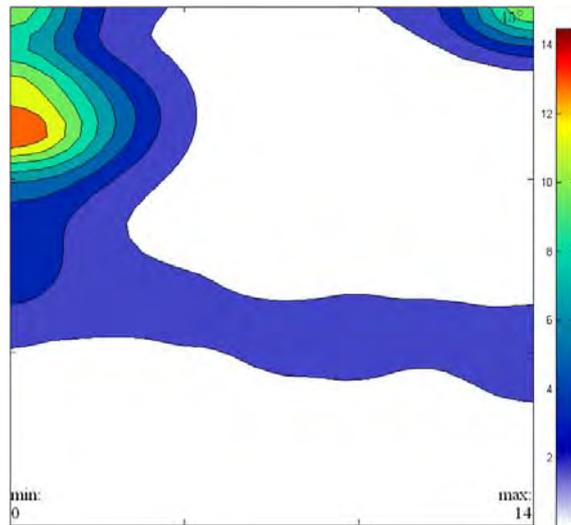


Figura 2. FDOC's da seção de ϕ_2 em 45° para o aço laminada, obtida pelo software Mtex® utilizando o método direto WIMV.

A FDOC calculada pelo *software* Labotex® usando o método direto ADC é mostrada na Figura 3. Assim como as FDOC's calculadas pelos métodos expansão em séries harmônico (Figura 1), e direto WIMV (Figura 2), a Figura 3 mostra uma típica FDOC de um aço IF deformado a frio. Demonstrando que as maiores intensidades estão localizadas na fibra DN e na Componente Cubo Girado. Assim como a baixa intensidade na fibra DN.

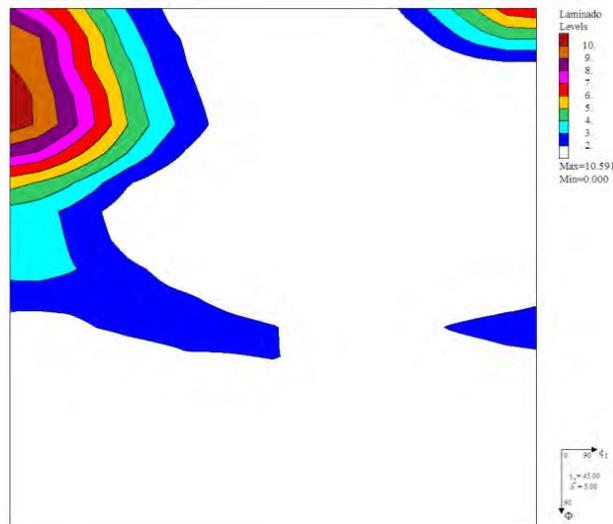


Figura 3. FDOC da seção de ϕ_2 em 45° para o aço laminada, obtida pelo software Labotex® utilizando o método direto ADC.

A Figura 4 mostra FDOC's na seção de ϕ_2 em 45° calculadas pelos métodos: expansão em séries harmônico utilizando o *software* PopLA® (Figura 4a), direto WIMV utilizando o *software* Mtex®, Figura 4b e direto ADC utilizando o *software* Labotex®, Figura 4c de um aço IF no estado recristalizado. Pode-se observar a presença da fibra DN ($\{111\}\langle uvw \rangle$) nas três figuras, mas as maiores intensidades estão localizadas nas componentes preferenciais $\{111\}\langle 231 \rangle$ e $\{111\}\langle 112 \rangle$. Contendo também uma fraca presença da componente cubo girado. Sendo essa textura típica de aço IF recristalizado.⁽⁵⁾

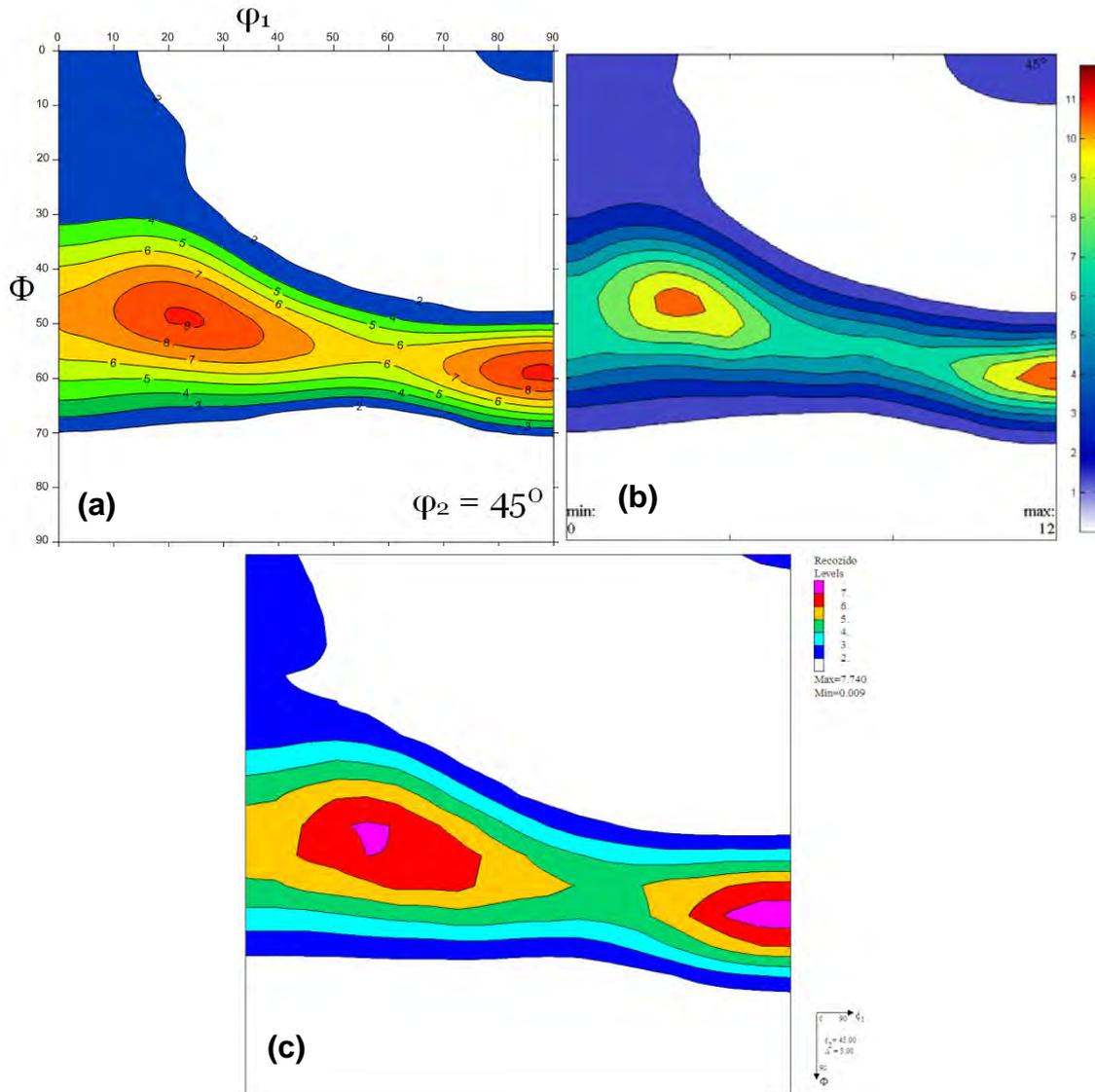


Figura 4. FDOC's da seção de ϕ_2 em 45° para um aço IF recristalizado, (a) obtida pelo software PopLA® utilizando o método de expansão em séries harmônico (b) obtida pelo software Mtex® utilizando o método direto WIMV e (c) obtida pelo software Labotex® utilizando o método direto ADC.

4 DISCUSSÃO

Nas Figuras 1, 2 e 3 observa-se a textura de um aço IF no estado deformado (textura forte) calculadas por três diferentes métodos (expansão em séries harmônicas usando software PopLA® (Figura 1), direto WIMV usando software Mtex®, Figura 2 e direto ADC usando software Labotex® (Figura 3). Elas se mostraram semelhantes entre si. Mas na Figura 1 nota-se o aparecimento de componentes preferenciais de baixa intensidade fora das fibras DN e DL. Sendo uma encontrada no canto inferior esquerdo, outra logo abaixo a componente Cubo Girado e por ultimo uma localizada abaixo da fibra DN. Essas componentes não são encontradas nas FDOC's calculada pelos métodos diretos (WIMV e ADC). Indicando que as mesmas são componente fantasma (*ghost error*), causado pela falta dos coeficientes ímpares da expansão em série e pelo truncamento da mesma. Podendo à falsas análises.

Ao calcular a textura do mesmo material no estado recristalizado, textura fraca, observa-se que os três métodos, expansão em séries harmônico e os diretos WIMV

e ADC, mostraram-se resultados bastante semelhantes, não havendo grandes diferenças. Na FDOC calculada pelo método de expansão em séries harmônico (Figura 4^a), não constatou a presença de componentes fantasmas (*ghost error*), mostrando que em texturas fracas esse método não leva a falsas interpretações.

5 CONCLUSÃO

A presença de componentes fantasmas no método de expansão em série harmônico mostra uma limitação desse método em relação aos métodos diretos (WIMV e ADC) para o cálculo de textura forte.

Como pode ser visto para uma condição de textura fraca os métodos se mostraram muito similares na forma da FDOC's e nas intensidades. Não ocorrendo componentes fantasmas na FDOC calculada pelo método de expansão em séries harmônico.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Caracterização de Materiais - LACAM por disponibilizar suas dependências para a realização deste trabalho e ao CAPES pelas bolsas.

REFERÊNCIAS

- 1 RANDLE, Valerie; ENGLER, Olaf. Introduction to Texture Analysis: microtexture, microtexture and orientation mapping. Amsterdam. Gordon and Breach Science Publishers. 2000.
- 2 ROE, Ryong-Joon. Description of crystalline orientation in polycrystalline materials. III. General solution to pole figure. *Journal of Applied Physics*. v.36. n. 6. p.2024-2031.jun. 1965.
- 3 BHADESHIA, H.K.D.H. Crystallographic. Disponível em:<http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2007/C6/full.pdf>. Acesso em: 04 Mar. 2013.
- 4 VIANA, C. D.; PAULA, A. D. Textura de Deformação. In: PADILHA, A. M.; PINTO, L. C.; VIANA, C. D.; PAULA, A. D. *Textura e Relações de Orientações: Deformação Plástica, Recristalização e Crescimento de Grão*. São Paulo: TWA Studio Gráfico. 2003. p. 45-47.
- 5 HUTCHINSON, W.B. Nucleation of Recrystization. *Scripta Metallurgica et Materialia*. vol. 27. n. 10, p. 1471-1475. 1992.