

RELAÇÃO ENTRE A ORIENTAÇÃO CRISTALOGRÁFICA E A PRECIPITAÇÃO DE MnS NA LIGA Fe-3%Si

W.Monteiro⁽¹⁾, V.Rodrigues⁽¹⁾, N.Ferreira⁽¹⁾, N.Lima⁽¹⁾, M.Cunha⁽²⁾, A.S-Silva⁽³⁾,
(1) IPEN/CNEN (2) IUE-Acesita (3) EPUSP-Depart.de Eng.Metalúrgica.

Resumo

Foi feito o estudo da distribuição de partículas de MnS e da textura em ligas Fe-3%Si de grão orientado após processo de laminação a quente. A caracterização foi feita por MET e o gradiente de textura por difratometria de raios-X. As medidas de raios-X mostram dependência com a orientação em relação a espessura da tira, (110) e (100) paralelas à superfície. Isto se correlaciona com a distribuição de precipitados de MnS na amostra, inibindo o crescimento normal do grão, favorecendo o crescimento seletivo dos mesmos.

INTRODUÇÃO

O aço de grão orientado é utilizado para aplicações em energia elétrica como materiais magnéticos que compõem núcleos de transformadores, motores elétricos e geradores. Para esta aplicação é necessário que se tenha alta permeabilidade, mas o principal é se ter alta indução para fracos campos externos fracos aplicados e pouca perda magnética [1].

As propriedades magnéticas do aço silício GO depende principalmente da forte orientação de Goss {110} <001>, que é produzida na recristalização secundária com a inibição dos grãos através de partículas de segunda fase presentes durante a recristalização primária [2].

Na fase final do processo, a orientação dos grãos será do eixo <001>, que é o eixo de fácil magnetização para o cristal de ferro (cúbico de corpo centrado) e é paralelo à direção de laminação da tira.

Neste trabalho é feito o estudo da distribuição de partículas de MnS bem como o estudo da textura em ligas de Fe-3%Si, de grão orientado, laminadas a quente.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.

A composição química do aço utilizado neste trabalho é apresentado na tabela 1.

O aço foi fornecido pela Acesita Aços-Especiais Itabira.

Tabela 1
Composição Química do Fe-3%Si (peso %)

Elemento	Peso(%)
Carbono	0,029
Manganês	0,059
Silício	3,19
Fósforo	0,017
Enxofre	0,022
Cromo	0,024
Níquel	0,014
Molibdênio	0,006
Alumínio	0,0028
Titânio	0,0021
Estanho	0,0046
Nitrogênio	0,0028

Para se caracterizar o gradiente de textura, foram preparadas amostras correspondentes ao início, 25, 50% e final da tira laminada a quente com desbaste de 200 μm até a metade da espessura da amostra. As análises foram feitas pela técnica de difratometria de raios-X que possui área de feixe de 20mm².

A caracterização das partículas de MnS foi feita em amostras correspondentes ao início, 25, 50% e final da tira na superfície e metade da espessura da amostra por meio de microscopia eletrônica de transmissão, utilizando-se, para preparação de amostra, a técnica de réplica de extração de precipitados. Para a determinação do diâmetro dos precipitados de MnS analisados, foram feitas cópias de negativos que resultaram em um aumento global de 52000 vezes. As Figs.1 e 2, mostram micrografias eletrônicas de amostras do aço Fe-3%Si.

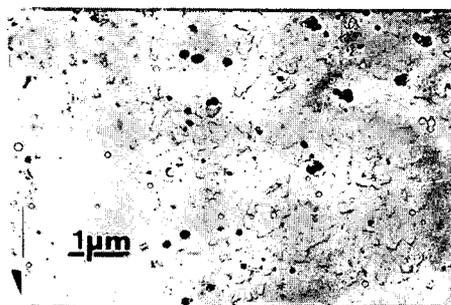


Fig.1 Micrografia referente a amostra de aço Fe-3%Si de grão orientado (superfície)

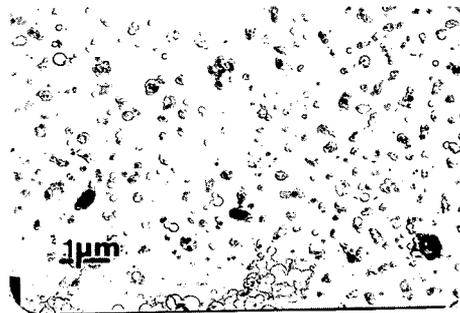


Fig.2 Micrografia referente a amostra de aço Fe-3%Si de grão orientado (espessura intermediária)

As medidas do diâmetro dos precipitados foram feitas com analisador de imagens (Mini-Mop). Estes dados foram elaborados em uma planilha eletrônica para microcomputador, o que permitiu a construção de histograma da distribuição dos precipitados de MnS.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Resultados Experimentais (RDX)

As Figs.(3, 4, 5 e 6) mostram a mudança de orientação preferencial (da superfície para a metade da espessura da amostra) através do fator de comparação feito com a ficha da ASTM (JCPDS) da liga de ferro na fase ferrítica, estas amostras são correspondentes ao início, 25, 50% e final da tira com desbaste de 200, 400, 600, 800 e 1000 μ m.

Difração de R-X

Início

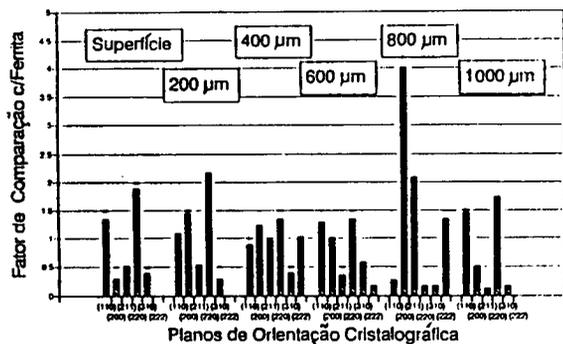


Fig.3. Planos de orientação cristalográfica da amostra referente ao início da tira.

Difração de R-X

25% do Início

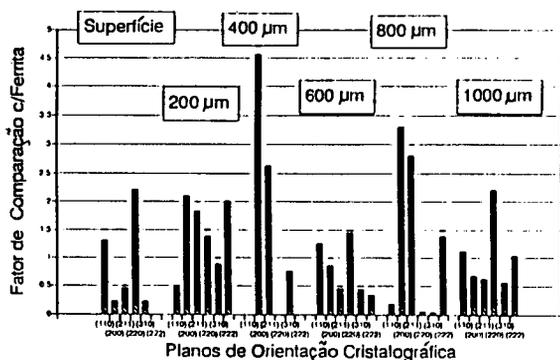


Fig.4. Planos de orientação cristalográfica da amostra referente a distância de 25% do início da tira

Difração de R-X

50% do Início

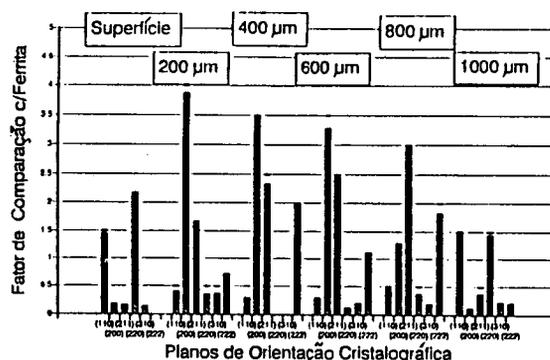


Fig.5. Planos de orientação cristalográfica da amostra correspondente à distância de 50% do início da tira.

Difração de R-X

Final

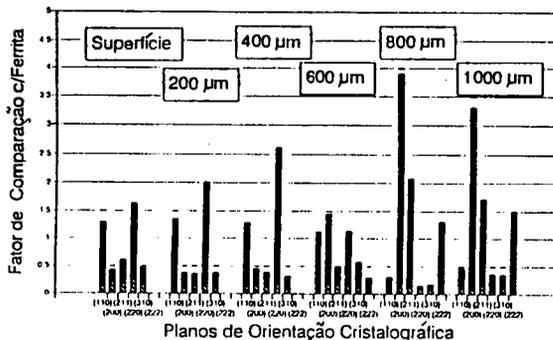


Fig.6. Planos de orientação cristalográfica da amostra correspondente ao final da tira.

Observa-se que todas as amostras na superfície (sem desbaste), apresentam-se orientadas preferencialmente com orientação (110) ou (220) paralela à superfície de amostra. Para o desbaste de 200 e 400 μ m, além dessa orientação, apresenta-se a orientação (200). Este fato, não se apresenta na amostra correspondente ao final da tira. Para o desbaste de 600 μ m as amostras apresentam-se preferencialmente orientadas no plano (110) e no plano (100), inclusive a amostra correspondente ao final da tira. Para o desbaste de 800 μ m, a orientação que prevaleceu foi

(100). Para o desbaste de 1000 μ m (metade da espessura da amostra), apresenta-se a orientação (110), (100) e (211). Observa-se, em todas as amostras e em todas as regiões estudadas a presença da orientação (110) paralela à superfície da amostra.

Microscopia Eletrônica de Transmissão.

As Figs.(7, 8, 9 e 10) mostram histograma de distribuição de MnS referente as amostras da região do início, 25, 50% e final da tira (superfície e metade da espessura da amostra). Observa-se que na superfície da amostra encontram-se sulfetos, em maior quantidade cujo diâmetro está no intervalo de 500 a 1000Å, enquanto que na metade da espessura da amostra, aqueles cujo diâmetro está no intervalo de 300 a 800Å, o que mostra que o tamanho do MnS está diminuindo para a metade da espessura da amostra. Quanto a densidade de partículas de MnS, observa-se um aumento desta, da superfície para a metade da espessura da amostra.

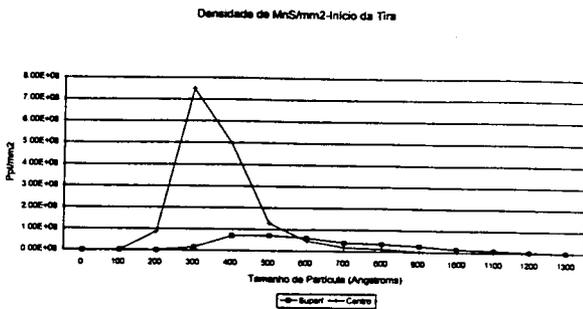


Fig.7.Histograma referente aos dados da amostra correspondente ao início da tira (superfície e espessura intermediária).

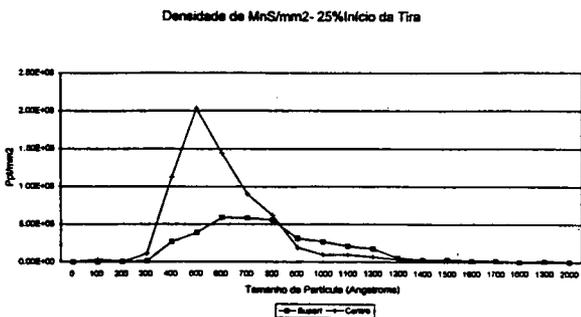


Fig.8.Histograma referente aos dados da amostra correspondente à distância de 25% do início da tira (superfície e espessura intermediária).

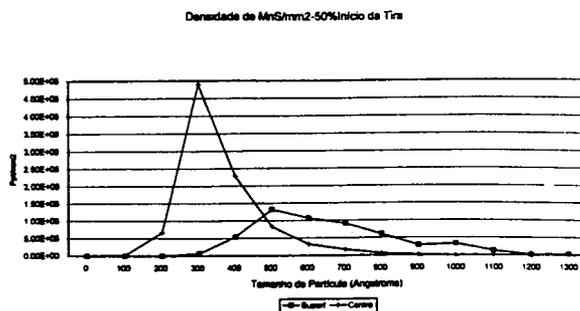


Fig.9.Histograma referente aos dados da amostra correspondente à distância de 50% do início da tira (superfície e espessura intermediária).

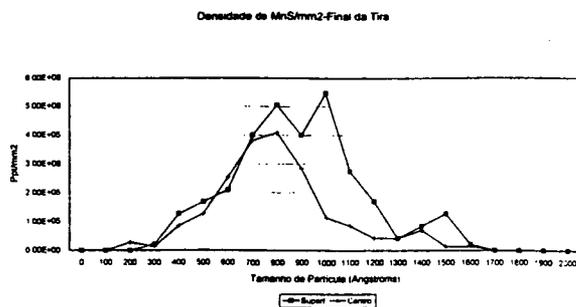


Fig.10.Histograma referente aos dados da amostra correspondente ao final da tira (superfície e espessura intermediária).

Estas observações podem ser atribuídas ao efeito do resfriamento da camada superficial da tira em contato com os cilindros da laminação nos últimos passes de desbaste. A camada superficial é resfriada rapidamente quando entra em contato com os cilindros e retoma uma temperatura próxima da inicial após o passe. No desbaste há deformação do material gerando alta densidade de discordâncias como sítios para nucleação de partículas que pode induzir a um início de precipitação na camada superficial. Quando esta camada retoma a temperatura inicial, os sítios de nucleação formados podem ser redissolvidos total ou parcialmente, os núcleos não dissolvidos crescerão durante o restante do processamento, gerando partículas maiores que as da metade da espessura da amostra.

As Figs.11 e 12 mostram a faixa de distribuição do MnS (incluindo desvio padrão) na superfície e metade da espessura da amostra. Nota-se que o diâmetro da partícula de MnS nas amostras correspondentes ao início, 25, 50% e final da tira na superfície é maior que na metade da espessura da amostra, bem como fica duplicada a sua faixa de dispersão.

CONCLUSÕES

Os precipitados de MnS inibem o crescimento normal do grão, ocorrendo assim um processo de crescimento seletivo desses grãos, sendo esse fato função da orientação cristalográfica.

Observando-se os resultados de MET temos que os precipitados de MnS apresentam-se em maior densidade na região correspondente à metade da espessura da amostra, conseqüentemente menor tamanho médio da partícula do que na camada superficial da amostra.

Com as medidas de difração de raios-X podemos verificar que na superfície das amostras (sem desbaste) (início, 25, 50% e final) os grãos apresentam orientação (110). Para o desbaste de 200 μ m, os grãos apresentam a orientação (110) e (100), exceto na amostra referente à parte final da tira. Este fato também ocorre para o desbaste de 400 μ m. Para o desbaste de 600 μ m todas as amostras apresentam orientação (110) e cubo (100). Para o desbaste de 800 μ m, temos uma baixa presença de grão com orientação (110), prevalecendo principalmente (100). No desbaste de 1000 μ m, metade da espessura da amostra, observa-se a forte orientação (110).

Há uma concordância destes resultados com os obtidos ao MET, uma vez que encontramos precipitados de MnS em maior densidade na região correspondente a metade da espessura da amostra inibindo o crescimento normal do grão e produzindo uma textura preferencial. Já na amostra correspondente ao final da tira, podemos observar que como ela se apresenta homogênea, a amostra não muda sua orientação preferencial com relação a sua espessura.

AGRADECIMENTOS.

Os autores agradecem a Acesita o material fornecido e a oportunidade de publicação desse trabalho.

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro à bolsista.

REFERÊNCIAS.

- [1]Sun,W.P.;"Measurement and Analysis of MnS Precipitation in Electrical Steels";PhD.Thesis, McGill University, Department of Mining and Metallurgical Engineering, January-1991.
- [2]Abbruzzese,G.,Fortunati,S.;"On the Relationship between the Kinetics of Secondary Recrystallization and Magnetic Properties of Grain Oriented Silicon-Iron". Materials Science Forum, vols.113-115 (1993) pp.287-292.

SUMMARY

The texture and the MnS particles distribution was made in grain-oriented Fe-3%Si alloy after a hot rolling processing. The characterization of particles was made by transmission electron microscopy (200kV) and the texture gradient by X-ray diffractometry.

The X-ray measurements bring the following orientations, dependent of the deep of the thickness of sheet, (110) orientation and (100) orientation parallel to surface that

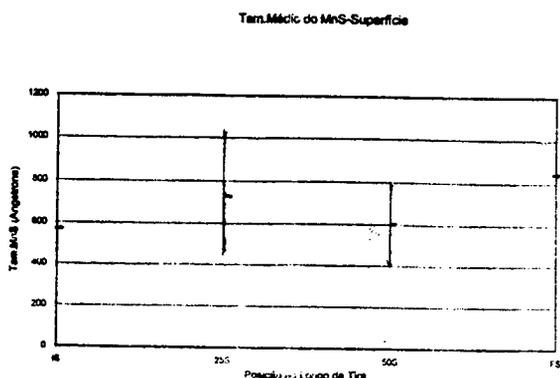


Fig. 11. Tamanho médio do precipitado de MnS e faixa de dispersão referente ao início, 25, 50% e final da tira (superfície).

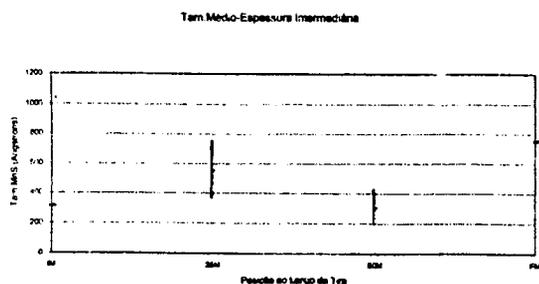


Fig. 12. Tamanho médio do precipitado de MnS e faixa de dispersão referente ao início, 25, 50% e final da tira (espessura intermediária).