

USIMINAS		CONTROLE TÉCNICO MECANIZADO DE EQUIPAMENTO - CTME										PÁGINA: 1							
IPL/ILQ/LOP		FICHA PARA INSPÇÃO DE EQUIPAMENTOS - CTME3001										DATA: 21/05/98							
COMPONENTES		DEFEITOS		DESGASTE		DATA ÚLTIMA		CAUSA		AFASTADO		CADASTRO		EM TESTE		A FAZER NESTA INSPÇÃO		PENDENTE PARA PRÓXIMA INSPÇÃO	
NOME	NÚMERO	ANT.	ATUAL	INTERN	EXTERNO	INSPEÇÃO	TROCA	SUCATA	LOCAL ENVIO	FABRICANTE	NÚMERO	SIM	NÃO						
ANEL DE ALUMÍNIO	000132	01				24/11/97													
CAIXA RETENTOR PE DE PATO	000035	01				24/11/97													
RETENTOR MORGOIL PE DE PATO	000299	01				23/04/98													
RETENTOR CAREPA	000282	01				03/02/98													
ANEL DESVIO																			
BUCHA MORGOIL	000095	01				04/02/98													
LUVA MORGOIL	000059	01				01/08/97													
ANEL ESPACADOR	000228	01				01/08/97													
ROLAMENTO	LD-11A	01		0,45		01/08/97													
TAMPA ENCOSTO ROLAMENTO	000177	01		0,40		03/08/97													
TAMPA MANCAL	000128	01		0,30		01/08/97													
PORCA BAYONETA DS	000013	01				03/02/98													
CUBO BAYONETA DS	000017	01				03/02/98													
ROCKER-PLATE	000198	01		30		01/08/97													
MANCAL DE CILINDRO	000176	01				04/02/98													

DIÂMETRO INTERNO DO MANCAL
DATA ÚLTIMA MEDIDA: 04/02/98

DESGASTE PADRÃO: 0.70

DESGASTE OBTIDO: 0.20

OVALIZAÇÃO DA BUCHA: 0.05
PADRÃO: 0.51

DESGASTE EXTERNO DA LUVA: 0.00

MANCAL FOI ABERTO A 108 DIAS TEMPO PADRÃO PARA ABERTURA (720) DIAS

TABELA DE DEFEITOS/MOTIVO DE SUCATAMENTO									
01 NORMAL	02 DESPREND. PEDAÇO	03 TRINCA	04 ENRIJAMENTO	05 QUEBRA	06 CORTE	07 MOLA DANIFICADA	08 PERDA DE MASSA	09 ARRASTE DE MATERIAL	
10 DESGASTE	11 TRAVAMENTO	12 GRIMPAMENTO	13 ATRITO	14 EMPENO					

LÍDER DE GRUPO

OPERADOR

DATA

ANISOTROPIA DE PROPRIEDADES MAGNÉTICAS EM AÇOS ELÉTRICOS⁽¹⁾

Marcos Flávio de Campos⁽²⁾
André Paulo Tschipsitschin⁽²⁾
Gabriela Campos Fronzaglia⁽³⁾
Henrique Khan⁽³⁾
Fernando José Gomes Landgraf⁽⁴⁾

RESUMO

As chapas de aço grão não orientado (GNO) utilizadas em motores elétricos deveriam ser, idealmente, isotrópicas. Entretanto, os aços fabricados segundo métodos industriais usualmente apresentam considerável anisotropia e textura inferior à que seria a textura ideal, {110} <0vw>. Uma maneira de avaliar essa variação de propriedades é através do ensaio padronizado em quadro de Epstein. Esse ensaio costuma ser realizado na direção de laminação e, algumas vezes, também na direção transversal (90° em relação à direção de laminação). Normalmente, não são realizadas medidas nas demais direções, mesmo porque seria trabalhoso, dispendioso e exigiria grande quantidade de amostras. Portanto, é necessário procurar um método que possa avaliar a anisotropia de propriedades magnéticas de uma maneira rápida, e com menos quantidade de material. Nesse sentido, é apresentado um método híbrido para estimar as propriedades magnéticas em todas as direções, baseado em ambos, medidas magnéticas e na ODF - função distribuição de orientações. Há um forte interesse tecnológico neste trabalho, pois é muito importante conhecer o comportamento do material em todas as direções. Um método similar pode ser aplicado para estimar anisotropia de propriedades em aços para conformação.

Palavras chaves: Aços elétricos, Textura, Função distribuição de orientações

- (1) Contribuição Técnica a ser apresentada no XXXV Seminário de Laminação, São Paulo SP, 11 a 14 de agosto de 1998.
- (2) Depto. de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, EPUSP, Av. Mello Moraes, 2463, São Paulo, SP, CEP 05508-900.
- (3) LCT - Laboratório de Caracterização Tecnológica, Depto. de Engenharia de Minas, EPUSP, Av. Mello Moraes, 2373, São Paulo, SP, CEP 05508-900.
- (4) Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Av. Prof. Almeida Prado, 532, São Paulo, SP, CEP 05508-901.

e-mail: mfdcampo@usp.br

1998
Serviço de Bibliotecas
Biblioteca de Engenharia de Minas

1. Introdução

A escolha do melhor aço para um determinado motor não é uma escolha simples. Essa decisão depende muito das características de projeto de cada motor. Em alguns casos, μ_{15} (permeabilidade para $B=1,5 T$) é o parâmetro de maior destaque, em outros, a indução magnética. Também há situações em que as perdas no núcleo são de especial importância. Muitas vezes, todas essas variáveis são relevantes. É muito difícil avaliar isoladamente o efeito de cada uma dessas variáveis, e a melhor maneira de escolher o aço ideal é através de testes em uma bancada de motores.

Nem sempre é clara qual é a melhor escolha e isso se reflete em outras variáveis também, como o teor de Si nos aços. Não existe um teor de Si ideal em aços para motores elétricos. O teor de Si ótimo também é função do projeto. A adição de Si sempre diminui as perdas no núcleo (também conhecidas por perdas no ferro), mas também sempre reduz a indução magnética. Todavia, algumas correlações são conhecidas. Por exemplo, quanto maior o tamanho do motor, maior tende a ser o teor de Si ideal em aços elétricos [1].

Entretanto, não importa o tipo de motor, ou o teor de Si do aço, a textura do aço deve sempre ser a melhor possível - otimizando textura estamos aperfeiçoando todas as principais variáveis de projeto - permeabilidade, indução máxima e perdas no ferro. Portanto, a preocupação com textura é um tema sempre recorrente nos trabalhos mais recentes sobre aços elétricos.

Um outro tema, também estreitamente relacionado com textura, é a anisotropia de propriedades magnéticas. As perdas rotacionais são muito afetadas por essa anisotropia [2] e são outro assunto de muito destaque atualmente. No entanto, os ensaios tradicionais fornecem poucas informações sobre a anisotropia de propriedades. Tanto quem desenvolve processos para produzir melhores aços, como os projetistas de motores, necessitam de uma comparação detalhada entre diferentes aços, a qual é praticamente inviável pelos métodos tradicionais de medida de propriedades magnéticas. Os dados disponíveis são normalmente medidos em apenas uma ou duas direções, seja por quadro de Epstein ou SST (single sheet tester).

O ensaio tradicionalmente utilizado para a caracterização magnética, em quadro de Epstein, requer aproximadamente 0,5 kg de amostras, cortadas em tiras no formato de 280mm x 30mm. A norma indica o uso de 50% das lâminas cortadas na direção longitudinal e 50% na direção transversal, o chamado "misto". Um único valor é obtido segundo esse critério, sendo que não há qualquer indicação da anisotropia existente através deste método. Entretanto, esse ensaio é muitas vezes realizado apenas com amostras extraídas segundo a direção de laminação e , algumas vezes, também com amostras apenas da direção transversal (90° em relação à direção de laminação). Esses conjuntos de

amostras fornecerão as propriedades magnéticas apenas em uma direção da chapa (longitudinal ou transversal, nos casos mencionados). Normalmente, não são realizadas medidas nas demais direções, mesmo porque seria trabalhoso, dispendioso e exigiria grande quantidade de amostras.

É necessário, portanto, procurar por um método que possa avaliar a anisotropia de propriedades magnéticas de uma maneira rápida, e com menos quantidade de material. Nesse sentido, é apresentado um método híbrido para estimar as propriedades magnéticas em todas as direções, baseado em ambos, medidas magnéticas e na ODF - função distribuição de orientações. As ODFs descrevem quantitativamente a textura do material, são obtidas em difratômetros equipados com goniômetro de textura, e requerem software especial para produzi-las.

Assim, além das ODFs poderem servir como método qualitativo de comparação entre diferentes aços, pode-se estimar propriedades magnéticas para todas as direções por meio da ODF e de algumas medidas em quadro de Epstein. O método aqui apresentado requer conhecimento de propriedades magnéticas (indução magnética) em duas direções arbitrariamente escolhidas, as quais neste caso serão as tradicionalmente analisadas direção de laminação e direção transversal à direção de laminação.

1.1. A ODF - função distribuição de orientações

Há duas notações [3] para representação de ODF, a de Roe e a de Bunge, sendo que a notação de Roe é mais utilizada nos Estados Unidos e Japão, enquanto que a de Bunge é mais difundida na Europa. Entretanto, com o tempo nota-se uma tendência de maior utilização da notação de Bunge. Neste trabalho será usada a notação de Bunge, padrão do software utilizado para os cálculos.

Demonstra-se matematicamente que não é possível representar a condição de textura de um material em apenas duas dimensões (este seria o caso das figuras de pólo). É necessária uma representação em 3 dimensões, e isso foi ressaltado na década de 60, quando foi desenvolvida a ODF. Portanto, a ODF é, de fato, um cubo no qual as linhas de iso-intensidades representam diferentes componentes de textura. No caso da notação de Bunge, esse cubo é descrito através dos ângulos Φ , Φ_1 e Φ_2 . Cada um desses ângulos varia entre 0 e 90° . Fixando-se um dos ângulos (por exemplo, fazendo $\Phi_2 = \text{constante}$) obtém-se um corte bidimensional. A nomenclatura (Φ , Φ_1 e Φ_2) foi escolhida arbitrariamente por Bunge. Roe preferiu usar os ângulos ψ , θ e ϕ (ângulos da notação de Euler). Maiores detalhes encontram-se no livro de Bunge [3].

Por convenção, costuma-se apresentar em artigos sobre aços baixo carbono, praticamente apenas o corte $\Phi_2 = 45^\circ$ (notação de Bunge). Esse corte é ideal para representar e analisar a textura fibra $\{111\} \langle uvw \rangle$, que é a textura

1.3. Teoria

Quando é calculada uma ODF, ela também fornece uma série de coeficientes que representam a condição de textura de textura do material. Esses coeficientes C_i^{jk} são chamados de coeficientes de textura e também podem ser usados para avaliar anisotropia de propriedades físicas [3,5,6].

Em muitos casos, os três primeiros coeficientes (C_4^{11} , C_4^{12} e C_4^{13}) da série representam satisfatoriamente a variação de uma propriedade física [6] em função do ângulo. O coeficiente C_4^{11} representa uma quantidade isotrópica, enquanto que os outros coeficientes, C_4^{12} e C_4^{13} , representam quantidades que variam em função da orientação. Esses coeficientes poderiam ser também utilizados para representar variação de propriedades mecânicas em função do ângulo [5,6] (por exemplo, o módulo de Young). A equação (1) aplica-se especificamente para estimar indução magnética [7] (B_z , no caso).

$$B(\theta) = a + \frac{b}{50} [10 - 0,5455 \cdot C_4^{11} + 0,8133 \cdot C_4^{12} \cdot \cos(2\theta) - 1,0758 \cdot C_4^{13} \cdot \cos(4\theta)] \quad (1)$$

Os valores de $B(\theta)$ e $B(90^\circ)$ são conhecidos por meio de medidas magnéticas. Os ângulos 0 e 90° correspondem às direções de laminação, e transversal à de laminação, respectivamente. Assim, temos um sistema de 2 equações e 2 incógnitas, a partir do qual podem ser encontradas as constantes a e b para cada material. O método aqui apresentado é muito semelhante ao de Bissan e Szpunar, os quais procuraram estimar a indução B_{10} para aços grão orientado (GO) [8].

1.4. Aços do tipo GNO (grão não-orientado) e GO (grão-orientado)

Há duas categorias principais de aços elétricos: GNO e GO. Os aços GO (grão orientado), com textura do tipo Goss (110) [001] destinam-se a transformadores. Os aços GNO (grão não orientado) aplicam-se em motores elétricos, e devem ser idealmente isotrópicos. Há duas classes principais entre os aços do tipo GNO (semi-processado e totalmente processado). O aço GNO totalmente processado, como o nome indica, poderia ser usado diretamente pelo fabricante de motores. Por outro lado, o aço GNO semi-processado requer antes de ser utilizado um recozimento final em atmosfera decarbonante, em temperatura em torno de 760°C . Por isso, os aços estudados podem encontrar-se nas condições R (recozido) ou S/R (sem recozimento). O recozimento afeta em alto grau [9] a textura do material, pois ocorre recristalização.

2. Procedimento Experimental

Nove aços diferentes do tipo GNO (grão não-orientado) foram submetidos a medidas magnéticas, e a medidas de textura por meio de ODFs. Entre os materiais estudados, há aços semi-processados (amostras A e B) sem recozimento (S/R) e na condição recozido (R). A amostra A/S/R foi submetida à três tipos de recozimento diferentes, resultando nas amostras A R1, A R2 e A R3 (ver Tabela II). Os aços C, D e E também foram incluídos para comparação. O aço D apresenta 2% Si. O aço E é do tipo totalmente processado e contém 2% Si. As demais amostras (A, B e C) são aços com teor de Si ~0% (residual apenas).

As medidas magnéticas foram realizadas em quadro de Epstein, no Laboratório de Materiais Magnéticos do IPT. As ODFs foram medidas no LCT - Laboratório de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP. O equipamento utilizado foi um difratômetro Philips, modelo XPert MPD. A textura foi medida sempre em amostras que representem o interior das chapas. Ou seja, a superfície analisada corresponde ao local intermediário entre as duas superfícies originais. A maioria dos aços apresentava espessura em torno de 0,5 mm. Para a medida de textura, as amostras foram submetidas à usual preparação metalográfica, incluindo polimento até 0,25 μm . As ODFs foram calculadas a partir de figuras de pólo (110), (200) e (211).

3. Resultados e Discussão

A Tabela II mostra resultados de medidas magnéticas e de tamanho de grão para amostras. Esses resultados serão úteis para comparação entre propriedades magnéticas e a textura encontrada nas amostras.

As amostras A/S/R B/S/R e C apresentam tamanho de grão na ordem de 10-20 μm e encontram-se na condição encruada (alongamento de 6-8%). Esse é o principal motivo da baixa permeabilidade para as amostras A/S/R, B/S/R e C. Na Tabela II nota-se que um pequeno grau de encruamento é suficiente para reduzir consideravelmente a permeabilidade μ_{15} , enquanto que B_{50} e também B_z foram pouco afetados. Entretanto, quando o grau de encruamento é mais elevado, poderá também acarretar em redução do B_z e B_{50} .

Notar na Tabela II que uma pequena variação na textura, perceptível através dos valores de B_z e B_{50} , afeta muito μ_{15} , e que as direções transversal e longitudinal muitas vezes apresentam resultados diferentes. As amostras D e E contêm 2% Si e, portanto, não são imediatamente comparáveis às outras, pois aumentando o teor de Si, as induções B_z e B_{50} diminuem consideravelmente (para um material de mesma textura).

Tabela II. Valores de Indução B_{25} e B_{50} , permeabilidade μ_{15} e tamanho de grão para diversas amostras.

	B_{25} T (T)	B_{25} L (T)	B_{50} T (T)	B_{50} L (T)	μ_{15} T	μ_{15} L	TG (μ m)
A S/R	1,59	1,58	1,71	1,72	697	625	12
A R1	1,61	1,68	1,70	1,77	1611	2843	103
A R2	1,62	1,67	1,70	1,75	2076	2773	280
A R3	1,61	1,64	1,69	1,73	1346	1859	210
B S/R	1,61	1,60	1,69	1,73	550	642	-
B R	1,63	1,67	1,71	1,75	2199	3308	145
C	1,56	1,56	1,67	1,66	651	726	~15
D	1,60	1,69	1,69	1,78	1244	3281	48
E	1,60	1,66	1,70	1,76	1225	2592	90

L é a direção de laminação. T é a direção transversal à de laminação.

B_{50} é a indução B para um campo H aplicado de 5000 A/m.

B_{25} é a indução B para um campo H aplicado de 2500 A/m.

μ_{15} é a permeabilidade para $B=1,5$ T.

O procedimento de medida de ODF utilizado foi eficiente mesmo para os materiais com maior tamanho de grão (mais de 100 μ m), onde a medida de ODF é considerada mais problemática, devido principalmente ao problema de amostragem. Esse problema foi superado através da escolha de fendas (de emissão e de recepção) adequadas e de um maior tempo de exposição.

3.1. ODFs para alguns dos materiais estudados

As ODFs obtidas serão apresentadas através de curvas de nível, em cinco intensidades diferentes. Para facilitar a interpretação e comparação entre diferentes ODFs, adotou-se como convenção pontos para as duas curvas de menor intensidade e linhas cheias para as duas de maior intensidade. A linha 3, de intensidade intermediária, é representada por um tracejado. Essa convenção aplica-se para todas as figuras 3 a 6. O corte $\phi_2=0^\circ$ permite visualizar mais claramente as componentes do tipo $\{0vw\}$. Portanto, segundo a convenção mencionada, linhas cheias nesse corte significam que o material apresenta uma textura mais otimizada para aplicação como aço elétrico.

Todos os aços apresentaram a fibra $\{111\}$ $\langle uvw \rangle$, em maior ou menor grau. Essa fibra alcançou maior intensidade para o aço C, o que é coerente com suas baixas propriedades magnéticas, como pode ser visto na Tabela II. A menor intensidade da fibra $\{111\}$ $\langle uvw \rangle$ foi observada para o aço E, o qual apresenta diversas componentes favoráveis para propriedades magnéticas e é também

compatível com os resultados obtidos (ver Tabela II), sempre levando em conta que o aço E contém 2% Si. As figuras 3 a 6 devem ser comparadas à figura 1 para a observação da localização das componentes de textura.

Uma análise da figura 3 permite notar que a amostra A S/R apresenta componentes como (111) [-3,-7,10], (111) [3,-4,1], (112) [-6,-15,10], (112) [-1,-3,2] ou (337) [-3,-4,3]. Basicamente grãos com orientação $\{111\}$ ou $\{112\}$ estão presentes, o que desfavorece as propriedades magnéticas. Através da figura 3b pode ser notado que não há componentes relevantes para $\phi_2=0^\circ$, ou seja, as intensidades são muito baixas para este corte.

No caso da amostra A R2 (figura 4), estão presentes componentes como (111) [1,-4,3], (112) [-1,-1,1], a Goss (011) [1,0,0], (011) [2,-7,7] e (041) [13,-1,4]. Portanto, ainda que componentes $\{111\}$ ou $\{112\}$ continuem presentes, na amostra A R2 surgiram componentes do tipo $\{0vw\}$, as quais contêm direções $\langle 100 \rangle$ e favorecem propriedades magnéticas.

A amostra A R3 também apresentou melhora das propriedades magnéticas (B_{50} e B_{25}), mas em menor grau que a amostra A R2. A observação da textura deste material (figura 5) revela que intensidade da fibra $\{111\}$ $\langle uvw \rangle$ caiu em relação à da amostra A S/R. Porém, não estão presentes componentes do tipo $\{0vw\}$ que seriam favoráveis.

A amostra E apresentou a textura que seria mais adequada para fins elétricos. A intensidade da fibra $\{111\}$ $\langle uvw \rangle$ é a mais baixa entre os materiais estudados e várias componentes favoráveis estão presentes, como por exemplo as componentes (011) [2,-3,3], (011) [3,-5,5], (013) [32,-14,5] e (025) [4,-5,2], ver figura 6. Notar que o corte $\phi_2=0^\circ$ (figura 6b) está repleto de linhas cheias, indicando a presença de diversas componentes $\{0vw\}$.

Em um estudo anterior [9], foi comparada a textura antes e após recristalização em aços semi-processados. Resultados similares foram verificados no presente estudo. Aços semi-processados na condição S/R apresentam intensa fibra $\{111\}$ $\langle uvw \rangle$. Após o recozimento a 760°C, observa-se uma redução na intensidade da fibra $\{111\}$ $\langle uvw \rangle$, com possível aparecimento de componentes favoráveis (como por exemplo a componente Goss (011) [1,0,0]).

Apesar dos aços A e B serem de procedências totalmente diferentes, os dois apresentavam textura semelhante na condição S/R e, quando foram recozidos, a recristalização originou praticamente o mesmo tipo de textura a qual, pelo observado nas figuras 8 e 7 (amostras B S/R e B R), favorece as propriedades magnéticas na direção de laminação ou próximo desta.

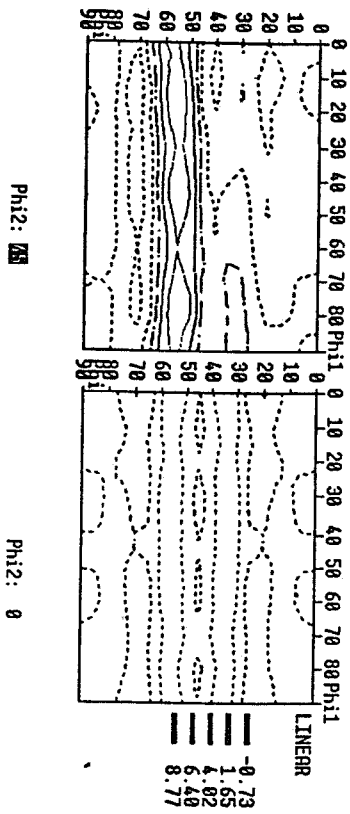


Figura 3. Amostra A S/R. Cortes da ODF para $\phi_2 = 45^\circ$ (a) e $\phi_2 = 0^\circ$ (b), notação de Bunge.

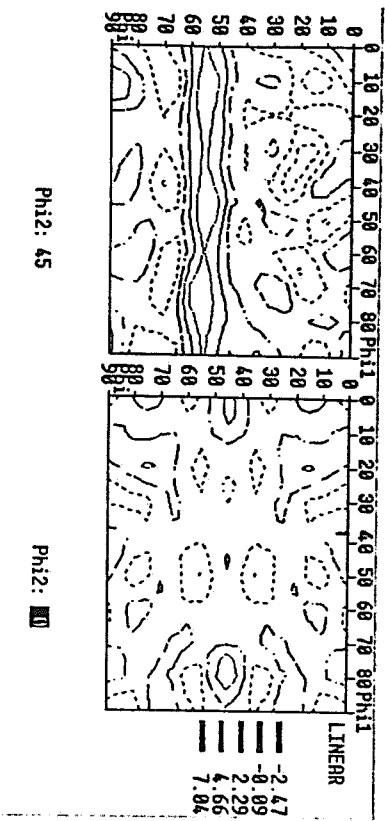


Figura 4. Amostra A R2. Cortes da ODF para $\phi_2 = 45^\circ$ (a) e $\phi_2 = 0^\circ$ (b), notação de Bunge.

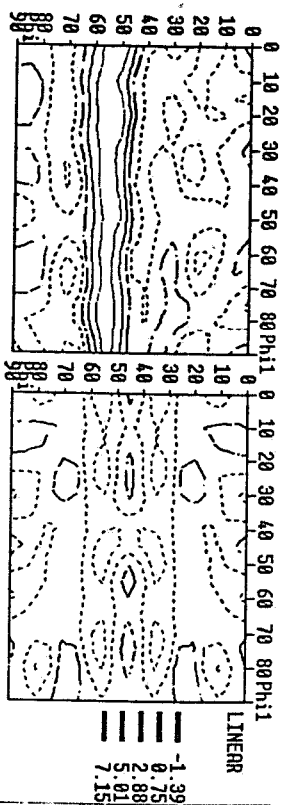


Figura 5. Amostra A R3. Cortes da ODF para $\phi_2 = 45^\circ$ (a) e $\phi_2 = 0^\circ$ (b), notação de Bunge.

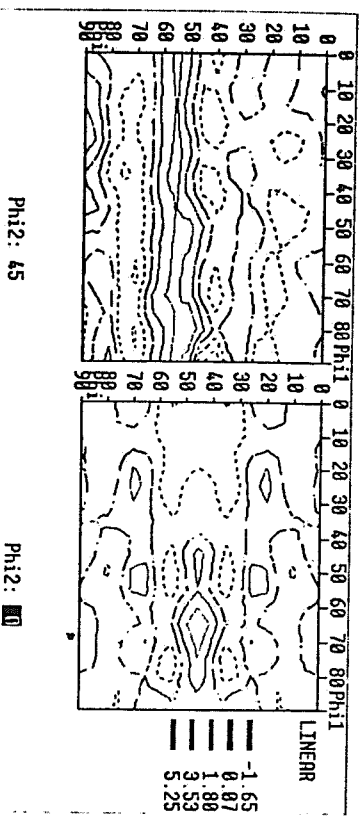


Figura 6. Amostra E. Cortes da ODF para $\phi_2 = 45^\circ$ (a) e $\phi_2 = 0^\circ$ (b), notação de Bunge.

3.2. Variação da indução magnética em função do ângulo

Através da utilização da equação (1), foi possível obter alguns resultados que seriam impossíveis de ser visualizados através apenas das tradicionais medidas magnéticas nas direções longitudinal e transversal. O método permite prever pontos de mínimo e máximo, como pode ser notado nas figuras 7 e 8. Por exemplo, antes da elaboração da figura 8, não era possível notar que para o aço A R2 o máximo B_{25} estivesse situado a 35° da direção de laminação, mesmo observando a ODF correspondente (figura 4).

Mais ainda, a Tabela III mostra que o B_{25} "médio" que seria obtido pela média aritmética entre os B_{25} medidos nas direções longitudinal e transversal, segundo a expressão $(B_{25} L + B_{25} T)/2$, é diferente daquele B_{25} médio obtido com os coeficientes da ODF.

Observando-se a figura 8, nota-se que propriedades diferentes foram obtidas para materiais que tinham como ponto de partida o mesmo material inicial, a amostra A S/R. As variações encontradas para as amostras A R1, A R2 e A R3 poderiam ser explicadas se ocorrer recuperação antes da recristalização em algumas situações e outras não. Uma rampa de aquecimento mais lenta até a temperatura de recocimento ($\sim 760^\circ\text{C}$) poderia propiciar recuperação, por exemplo. A ocorrência de recuperação pode prejudicar a formação de orientações favoráveis, se estas se originarem por meio do mecanismo SIBM ("strain induced grain boundary migration" - migração do contorno de grão induzida por deformação). Também é possível que, durante o crescimento de grão, a competição entre grãos de diferentes orientações possa favorecer determinadas componentes de textura, e seria apropriado um estudo sobre de que maneira o crescimento de grão pode estar afetando essas componentes.

Tabela III. Comparação entre os valores experimentais de B_{25} (longitudinal e transversal) e o B_{25} médio obtido por meio dos coeficientes da ODF.

	$B_{25} T$ (T)	$B_{25} L$ (T)	B_{25} médio ODF (T)
A S/R	1,59	1,58	1,58
A R1	1,61	1,68	1,65
A R2	1,62	1,67	1,66
A R3	1,61	1,64	1,63
B S/R	1,61	1,60	1,60
B R	1,63	1,67	1,67
C	1,56	1,56	1,56
D	1,60	1,69	1,665
TP	1,60	1,66	1,62

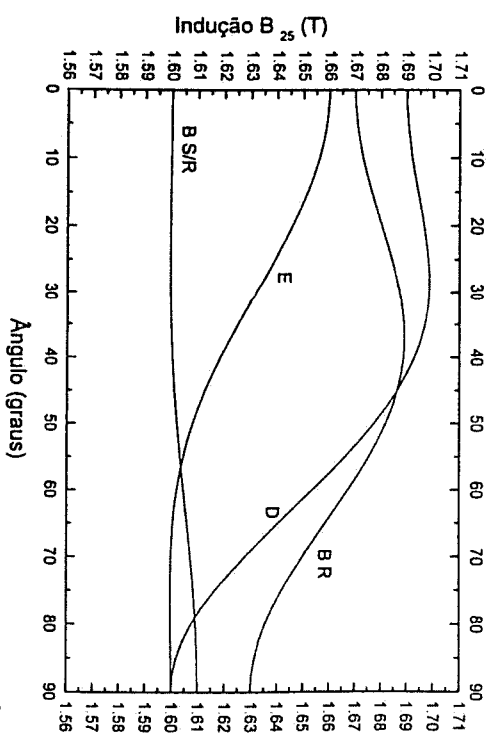


Figura 7. Indução B_{25} em função do ângulo para as amostras B S/R, B R, D e E.

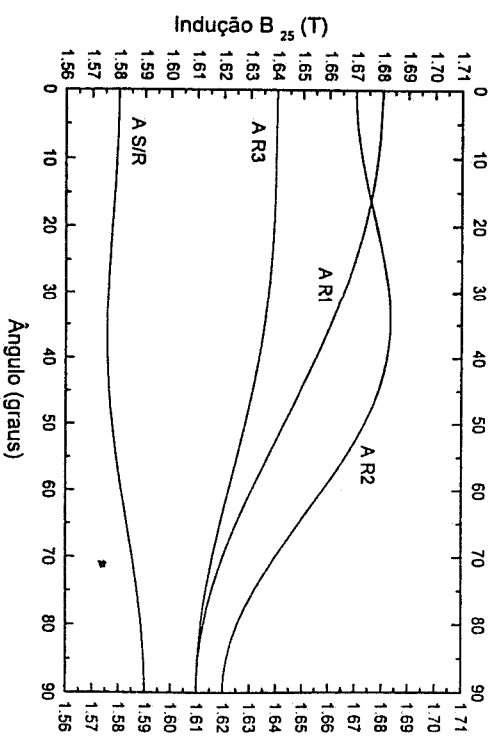


Figura 8. Indução B_{25} em função do ângulo para as amostras A S/R, A R1, A R2 e A R3.

Há alguns modelos na literatura [10] para tentar explicar ao aparecimento de diferentes componentes de textura, mas ainda longe de produzir resultados que realmente reproduzam o que ocorre na prática. Por exemplo, um destes modelos sustenta nucleação randômica [10], o que está muito longe do normalmente verificado. Conforme o observado ao longo deste estudo, componentes do tipo {111}, ou próximo destas, são favorecidas em detrimento de outras, nos processos de nucleação e crescimento. Logicamente, essa observação se aplica apenas aos materiais analisados aqui, os quais foram produzidos segundo algumas condições específicas. Há muitas possibilidades diferentes (ou seja, variáveis que podem ser alteradas) durante o processamento de aços, significando que muitos tipos diferentes de textura podem ser induzidas. Assim, nessa área de pesquisa continua existindo um grande potencial para desenvolvimentos.

4. Conclusões

Um método para estimar indução magnética em aços elétricos GNO em todas as direções foi apresentado. O método é baseado em ambos, medidas magnéticas (nas direções longitudinal e transversal à laminação) e nos coeficientes da ODF - função distribuição de orientações.

O método permite prever e estimar anisotropia de propriedades magnéticas, e proporciona comparar, de uma maneira bastante abrangente, aços diferentes.

A textura de diversos aços elétricos GNO comerciais foi analisada, notando-se considerável presença de componentes indesejáveis, por exemplo planos {111}, indicando que há muitas possibilidades de desenvolvimentos futuros nesta área.

É sugerida a utilização dos cortes da ODF para $\phi_2=45^\circ$ e $\phi_2=0^\circ$ (notação de Bunge) para melhor visualização e comparação de componentes de textura em aços para fins elétricos.

Através de um procedimento de medida apropriado é possível avaliar textura por meio de ODFs mesmo em materiais com elevado tamanho de grão (na ordem de 200-300 μm , no caso de alguns aços analisados).

Agradecimentos

Ao Vicente Izabel dos Santos pela preparação metalográfica das amostras, à Kátia Ito por medidas de tamanho de grão e à Maria Aparecida Filipini por medidas magnéticas. À FAPESP, proc. 97/4877-0. MF de Campos agradece à CAPES pela bolsa de doutorado.

Referências Bibliográficas

- [1] HONDA, A.; FUKUDA, B.; OHYAMA, I.; MINE, Y. Effects of magnetic properties of nonoriented electrical steel sheets on motor efficiency. J. Mat. Eng., v. 12, n. 1, p. 41-45, 1990.
- [2] MOSES, A. J. Importance of rotational losses in rotating machines and transformers. J. Mat. Eng. Perf., v. 1, p. 235-244, 1992.
- [3] BUNGE, H.-J. Texture analysis in materials science - mathematical methods. Butterworths, London, 1982.
- [4] CAMPOS, M. F. de; LANDGRAF, F. J. G.; TSCHIPTSCHIN, A. P. Um método para estimar indução magnética a partir de textura em aços elétricos GNO. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA ABM, 2, São Paulo, SP, 1997.
- [5] BUNGE, H.-J.; ROBERTS, W. T. Orientation distribution, elastic and plastic anisotropy in stabilized steel sheet. J. Appl. Cryst., v. 2, p. 116-128, 1969.
- [6] BUNGE, H.-J. The basic concepts of texture investigation in polycrystalline materials. Steel Res. v. 62, n. 12, p. 530-541, 1991.
- [7] JÄCKEL, K.-H.; TOBISCH, J.; KLEINSTÜCK, K. Quantitativer einfluss der verschiedenen texturkomponenten auf die magnetische induktion von elektroblechen. Elektrte, v. 39, p. 405-406, 1985.
- [8] BIRSAN, M.; SZPUNAR, J. A. Orientation dependence of the permeability in textured soft magnetic materials. Mat. Sci. Forum, v. 157-162, p. 1543-1550, 1994.
- [9] CAMPOS, M. F. de; LANDGRAF, F. J. G.; LIMA, N. B. de; TSCHIPTSCHIN, A. P.; BRANDÃO, L. P. M. Avaliação de textura em aço elétrico GNO. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA ABM, 2, São Paulo, SP, 1997. p. 150.
- [10] JONAS, J. J.; KESTENS, L. Modelling the effects of nucleation and growth on texture formation in commercial steels. Mat. Sci. Forum, v. 264-265, p. 155-158, 1996.

ANISOTROPY OF MAGNETIC PROPERTIES IN ELECTRICAL STEELS

The non-oriented steel sheets used in electrical motors should be, ideally, isotropic. However, steels produced following industrial methods normally have strong anisotropy and also show texture worse than the desirable texture {100} <0vw>. A manner to evaluate that variation of properties is the standard Epstein test. This test normally is made for the lamination direction, or sometimes, for the transversal direction (90° to the lamination direction). Measurements for other directions are rarely done, because they are laborious and expensive and also because a larger amount of material would be necessary. Thus, an alternative procedure to estimate the magnetic properties in all directions is described. The suggested method is based on both: magnetic measurements and the coefficients from ODF - orientation distribution function. Nine samples of non-oriented electrical steels had their magnetic induction B_s estimated in all directions using the method.

Keywords: electrical steels, texture, orientation distribution function

NOVAS TECNOLOGIAS DE REFRAATÓRIOS APLICADAS EM FORNOS DE REAQUECIMENTO DE AÇO ⁽¹⁾

Alamar Kasan Duarte ⁽²⁾
 Luis Carlos Pompeu ⁽³⁾
 Modestino Alves de Moura Brito ⁽⁴⁾
 Sérgio Luiz Cabral da Silva ⁽⁵⁾
 Waldemar Abreu Coelho ⁽⁶⁾

RESUMO

Objetivando longas campanhas e menor tempo de aplicação em soleiras, tetos e paredes de fornos estacionários em geral e, em particular, em fornos de reaquecimento para laminação de placas ou tarugos de aço, buscou-se o desenvolvimento de novas tecnologias em refratários.

Foram desenvolvidos concretos densos e isolantes com características especiais que permitem sua aplicação por vertimento ou bombamento sem necessidade de vibração (concreto de fluência livre), bem como sua aplicação através de projeção a úmido ("shotcreting") mantendo-se as propriedades termomecânicas desejadas.

Fez-se também uma revisão nos procedimentos de aplicação com vistas à utilização destes novos materiais, com consequentes reflexos sobre custos com mão-de-obra, redução do tempo de aplicação, custos de paradas, uniformidade de aplicação, etc.

Alguns casos estudados e a modalidade de fornecimento, regime "turnkey", são apresentados, envolvendo resfriamento, demolição, reconstrução, secagem e "start-up", além de transporte dos materiais até o local da obra como alternativa de fornecimento, minimizando assim as preocupações do cliente final.

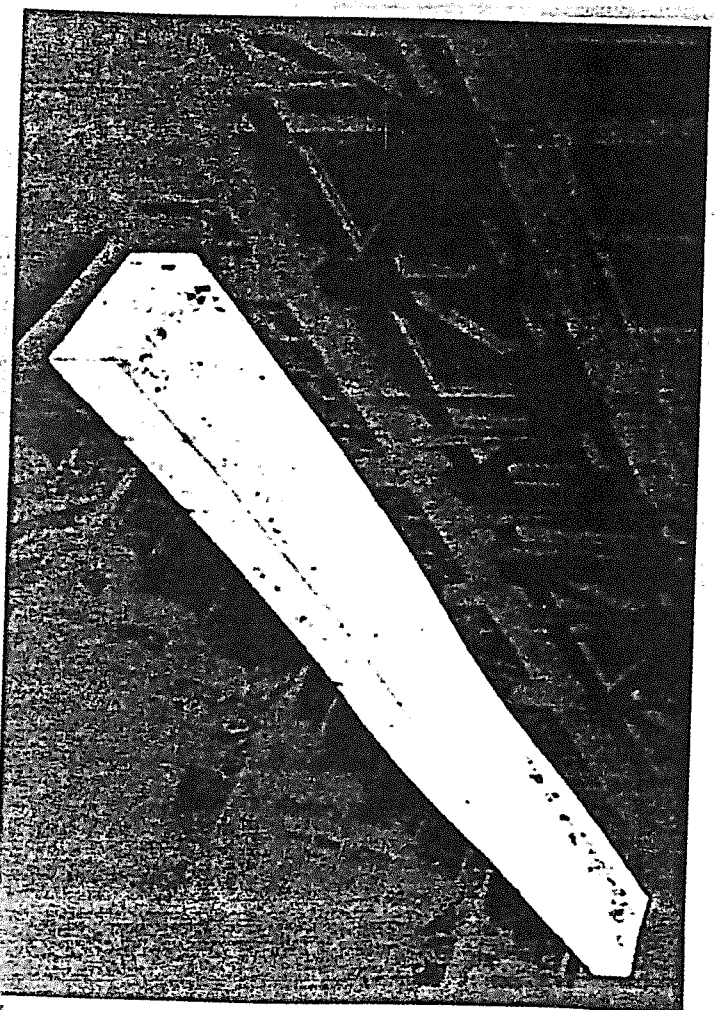
Palavras-Chaves: Concretos refratários, Fornos de reauecimento

- (1) Trabalho a ser apresentado no XXXV Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, São Paulo, SP, 11 a 14 de agosto de 1998.
- (2) Engenheiro Metalurgista; M.Sc. Eng. Cerâmica, University of Missouri-Rolla, USA; Gerente do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Magnesia S.A.
- (3) Engenheiro de Materiais; Consultor na Área de Revestimentos Industriais e Sistemas de Combustão.
- (4) Engenheiro Metalurgista; M.Phil. Eng. Cerâmica, University of Leeds, England; Pesquisador do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Magnesia S.A.
- (5) Engenheiro Químico; M.Sc. Eng. Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro; Pesquisador do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Magnesia S.A.
- (6) Engenheiro Civil; Coordenador do Departamento de Assistência Técnica - Área de Redução e Fornos de Reaquecimento, Magnesia S.A.

Seminário

Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais

XXXV Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos



12 a 14 de Agosto de 1998 - São Paulo - SP

Supervisão: Divisão Técnica de Conformação

Serviço de Bibliotecas
Biblioteca da Engenharia de Minas