

UTILIZAÇÃO DO EFEITO BARKHAUSEN PARA A DETERMINAÇÃO DA DIREÇÃO DE LAMINAÇÃO EM MATERIAIS FERROMAGNÉTICOS

Ernani Sales Palma (*)
Jefferson José Vilela (**)
Silvério Ferreira da Silva Júnior (**)
Tanius Rodrigues Mansur (**)
Weber de Oliveira (***)

(*) Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC-MG

(**) Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN/CNEN

(***) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG

RESUMO

O processamento metalúrgico dos materiais ferromagnéticos utilizados para fins estruturais, como a laminação e a trefilação, produz uma orientação preferencial na estrutura destes materiais. Esta orientação preferencial da estrutura, por sua vez, resulta em uma orientação preferencial dos domínios magnéticos ao longo de uma determinada direção no material, denominada eixo de fácil magnetização. Um estudo realizado nos aços ASTM A 515 e ASTM A 36 revelou que os valores dos sinais magnéticos Barkhausen emitidos pelo material sob a influência de um campo magnético variável são fortemente dependentes da direção em que são medidos. Sua intensidade é máxima quando a direção do campo magnético de excitação é paralela à direção de laminação destes materiais, alcançando valores mínimos na direção perpendicular à mesma. As medidas realizadas em amostras destes materiais submetidas a diferentes estados de tensão indicam que este comportamento permanece, apesar da forte influência que o estado de tensões presente no material exerce nos resultados obtidos. Conclui-se que o Efeito Barkhausen pode ser utilizado de forma eficiente como um método de ensaio não destrutivo para a determinação da direção de laminação em materiais ferromagnéticos.

1. INTRODUÇÃO

O efeito Barkhausen se origina nas mudanças descontínuas que ocorrem na densidade de fluxo durante o processo de magnetização de um material ferromagnético. Estas mudanças tem origem na interação que ocorre entre as fronteiras dos domínios e descontinuidades estruturais presentes no material, que atuam como barreiras de energia ao movimento das fronteiras.

As variações que ocorrem na curva de magnetização devido aos movimentos abruptos dos domínios podem ser detectadas por uma bobina posicionada próxima ao material, pois irão induzir pulsos elétricos na mesma. Estes pulsos elétricos são denominados sinais ou ruídos Barkhausen.

A profundidade do material que pode ser investigada pela observação dos sinais magnéticos Barkhausen é influenciada principalmente pela faixa de frequência dos sinais analisados, pela permeabilidade magnética e pela condutividade elétrica do material em estudo, situando em torno de 1 mm a partir da superfície.

Duas importantes características afetam a intensidade e natureza dos sinais Barkhausen. A primeira é a presença de tensões elásticas no material, que interferem na forma com que os

domínios magnéticos irão se movimentar de uma direção de fácil magnetização para outra. A segunda característica é a estrutura metalúrgica do material, fazendo com que fatores como a dureza, a composição química e a textura exerçam uma grande influência na natureza dos sinais emitidos "Sipahi, 1994". Este fato torna possível a utilização da análise dos sinais Barkhausen como um ensaio de superfície para a caracterização de materiais ferromagnéticos.

As propriedades mecânicas dos materiais policristalinos utilizados em engenharia são afetadas pela sua estrutura. Em função do processamento mecânico a que são submetidos, ocorre uma orientação preferencial dos grãos em determinadas direções. Esta orientação, por sua vez, também afeta a textura magnética dos materiais e pode ser determinada pela medida dos sinais Barkhausen emitidos pelo material durante a sua magnetização "Jagadish e Atherton, 1992".

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Instrumentação. Os sinais Barkhausen foram medidos utilizando-se o equipamento Strestest 20.04, com uma sonda para excitar o material e detectar os sinais Barkhausen gerados. As medidas foram feitas utilizando-se um campo magnético de excitação de 100 Hz. Os sinais Barkhausen foram filtrados utilizando-se um filtro de 8 kHz.

Para a realização dos experimentos para a verificação da influência de diferentes estados de tensão no comportamento dos sinais Barkhausen emitidos pelo material, foram utilizados uma roseta de três elementos e a instrumentação convencional de extensometria.

Material. Este estudo foi realizado para os aços ASTM A 515 Grau 55 e ASTM A 36, materiais que possuem uma vasta aplicação na fabricação de componentes estruturais. Foram fabricados dois corpos-de-prova nas dimensões 300 mm x 300 mm x 6,35 mm para a determinação da direção de laminação.

Metodologia Experimental. Para a realização das medidas foi desenvolvido um dispositivo para garantir o posicionamento do sensor na superfície do material, mantendo constantes as características geométricas da montagem experimental. Tanto a posição do sensor como a pressão exercida contra a superfície do material durante as medidas permanecem inalterados. Um dispositivo de indexação possibilita que o sensor possa ser girado em torno da região de interesse em incrementos de 15°. Com isto, a direção do campo magnético de excitação aplicado ao material pode ser variada em incrementos conhecidos e o sinal magnético Barkhausen, emitido pelo material em cada uma destes direções, pode ser medido.

O valor do campo magnético de excitação foi determinado de forma a possibilitar a maior diferença de amplitude entre os sinais gerados nas direções paralela e perpendicular à direção de laminação do material. As medidas dos sinais Barkhausen foram realizadas utilizando-se um filtro de 8 kHz, o que limitou a profundidade de exame a cerca de 0,1 mm.

O primeiro experimento consistiu em se realizar as medidas dos sinais Barkhausen em uma região de uma chapa de cada material

estudado. As medidas foram realizadas girando-se a sonda ao redor da região de interesse, em incrementos de 15°. A posição correspondente ao ângulo de 0° corresponde à direção paralela à direção de laminação do material.

O dispositivo utilizado para a realização dos experimentos pode ser observado na Figura 1.

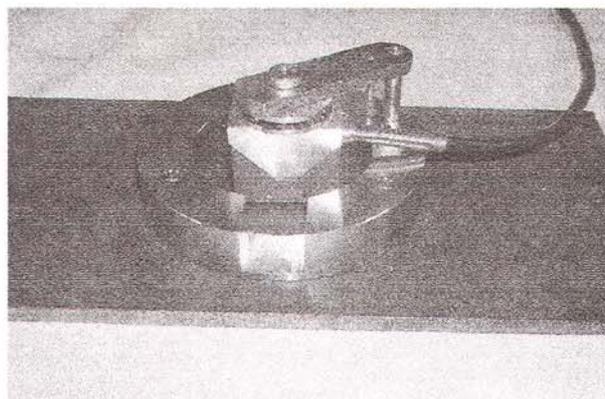


Figura 1. Dispositivo utilizado para a medida dos sinais magnéticos Barkhausen em diferentes direções.

O segundo experimento consistiu em se submeter corpos-de-prova dos materiais em estudo a diferentes níveis de carregamento, de forma a verificar o seu comportamento na presença de diferentes estados de tensão. Para isto, utilizou-se a montagem experimental que pode ser observada na Figura 2, onde os diferentes estados de tensão foram obtidos em um dispositivo trabalhando com vigas de isoflexão fabricadas a partir de amostras destes materiais.

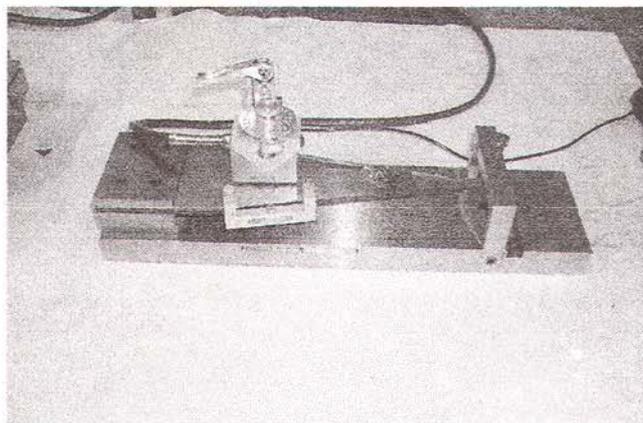


Figura 2. Dispositivo utilizado para a medida dos sinais magnéticos Barkhausen em diferentes direções, sob diferentes condições de carregamento.

Também neste caso, a direção correspondente ao ângulo de 0° é direção paralela à direção de laminação do material.

3. RESULTADOS

A variação do sinal magnético Barkhausen em função da direção para os aços ASTM A 515 e ASTM A 36, sem a influência de um carregamento externo pode ser observada nas Figuras 3 e 4.

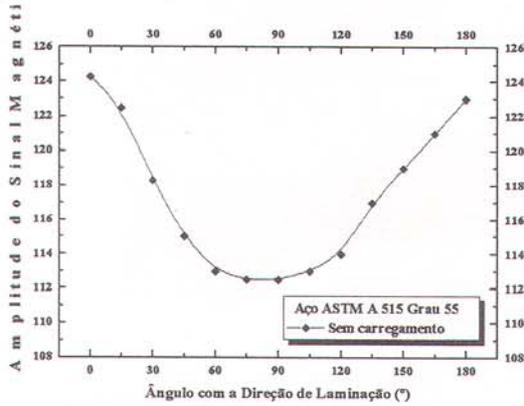


Figura 3. Variação do sinal magnético Barkhausen com a direção de medida para o aço ASTM A 515 Grau 55.

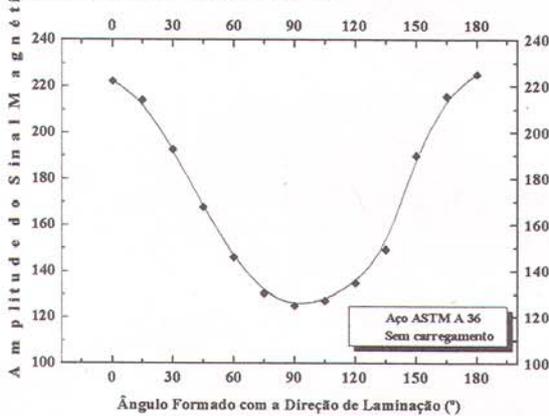


Figura 4. Variação do sinal magnético Barkhausen com a direção de medida para o aço ASTM A 36.

Verifica-se que, para ambos os materiais, a intensidade máxima dos sinais ocorre em uma direção aproximadamente paralela à direção de laminação e a intensidade mínima na direção perpendicular à mesma.

A metalografia de uma amostra do aço ASTM A 515, conforme pode ser observado na Figura 5, confirmou que os sinais Barkhausen apresentaram uma amplitude maior em uma direção aproximadamente paralela à direção de laminação do material.

O aço ASTM A 515, quando carregado de forma a dar origem a tensões de tração em sua superfície, na direção de laminação, apresentou o comportamento indicado na Figura 6.



Figura 5. Metalografia revelando a microestrutura de uma amostra retirada da seção longitudinal da chapa de aço ASTM A 515 Grau 55 com um aumento de 200 x.

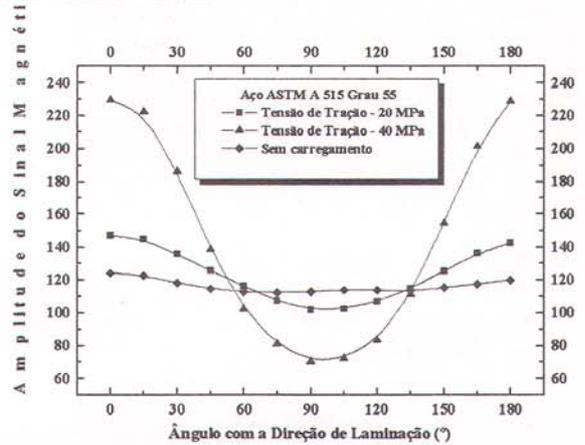


Figura 6. Variação do sinal magnético Barkhausen com a direção de medida para o aço ASTM A 515 Grau 55, sob diferentes condições de carregamento.

O comportamento do aço ASTM A 36 sob diferentes condições de carregamento pode ser observado na Figura 7.

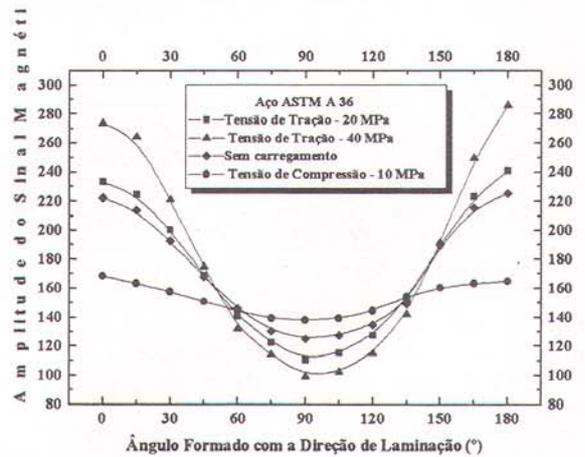


Figura 7. Variação do sinal magnético Barkhausen com a direção de medida para o aço ASTM A 36 sob diferentes condições de carregamento.

4. CONCLUSÕES

O efeito Barkhausen foi utilizado com sucesso para a determinação do eixo de fácil magnetização dos materiais em estudo, conforme pode ser observado pela análise das Figuras 3 e 4, onde os sinais apresentaram claramente uma amplitude maior em uma direção próxima à direção de laminação do material.

As medidas realizadas com os mesmos materiais submetidos a diferentes estados de tensão comprovaram a forte influência que a presença de tensões mecânicas exerce no comportamento e no valor dos sinais Barkhausen emitidos pelo material, conforme o observado por "Jagadish e Atherton, 1992". Esta observação é extremamente importante quando se realizam medidas dos sinais Barkhausen para a determinação de tensões residuais ou aplicadas em componentes. As direções em que as medidas são realizadas devem corresponder às direções em que as medidas foram realizadas nos corpos-de-prova durante a calibração do sistema de ensaio.

5. REFERÊNCIAS

- Atherton, D. L., Jagadish, Dhar, C., "Using the Barkhausen Effect to Determine the magnetic Easy Axis of Magnetization in Steels" Materials Evaluation, pp. 1139-1141, Outubro 1992.
- SIPAHI, L. B. "Overview of Applications of Micromagnetic Barkhausen Emissions as Noninvasive Material Characterization Technique" Journal of Applied Physics, 75 (10), pp. 6978-6980, Maio 1994.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos – pelo suporte financeiro dado a este trabalho sob o contrato RECOPE 7798031700, REFERÊNCIA 1567/96.

SUMMARY

The metallurgical processing of ferromagnetic materials, such as rolling and drawing, induces a preferential orientation in the material structure. As a consequence, the magnetic domains are aligned along a particular direction into the material, called easy axes of magnetization. A study carried out in samples of ASTM A 515 Gr 55 and ASTM A 36 steels shows that the magnetic Barkhausen signal amplitude strongly dependent of direction of the measurements. Their maximum amplitude is in the direction parallel to rolling of direction of material. Measurements performed in sample of these materials under different stress states show the same behavior. The results obtained indicate suggest that this test method can be used successfully to determine the rolling direction in ferromagnetic materials.