

CARACTERIZAÇÃO DE MICRO ESTRUTURAS POR ENSAIOS DE ULTRA SOM EM AÇO 1045

**Otávio S. GADELHA NETO (1), Carlos A. SOBRINHO (2), Neilor C. SANTOS (3),
Edgard M. SILVA (4)**

Centro Federal de Educação Tecnológica, Av. 1º de Maio, 720 – Jaguaribe
João Pessoa PB, (83) 3208 3064 (83) 3208 3088

- (1) gadelha@gmail.com
(2) carlosautomacao@gmail.com
(3) neilor@cefetpb.edu.br
(4) edgard@cefetpb.edu.br

RESUMO

A crescente necessidade da indústria por ensaios não destrutivos de inspeção de microestruturas e a busca por procedimentos cada vez mais ágeis em suas respostas, gera a demanda por métodos não convencionais que possam suprir tais necessidades. O emprego de técnicas como a geometria dos fractais, técnica difundida no meio científico, em particular na engenharia e ciência dos materiais, tendo como objetivo analisar falhas e estudar as propriedades mecânicas e de inspeções por Ultra Som foram os objetos de estudo deste trabalho. Apresentamos aqui uma aplicação de Dimensão Fractal (DF) em conjunto com a técnica de ultra-som para caracterização microestrutural de um aço SAE 1045 submetido a diversos tratamentos térmicos. Os resultados obtidos mostram que a atenuação sônica não apresenta variação na dimensão fractal do sinal do eco de fundo em função do tratamento térmico aplicado.

Palavras-chave: Micro-estruturas, Ultra Som, Dimensão Fractal.

1 INTRODUÇÃO

Devido à necessidade na indústria por técnicas mais práticas na detecção de defeitos, os métodos de ensaios por ultra-som popularizaram-se nos últimos anos. Caracterizam-se em métodos não destrutivos que tem por objetivo a detecção de defeitos e descontinuidades internas presentes nos variados tipos de materiais. Hoje em dia considerados como ferramentas indispensáveis para garantia de qualidade, os ensaios ultra-sônicos, assim como todos exames não destrutivos, visam diminuir o grau de incerteza na utilização de materiais ou peças onde um alto grau de responsabilidade é exigido.

Este tipo de ensaio tem como objetivo aplicar uma onda ultra-sônica em um material policristalino, onde os componentes microestruturais como: grãos, inclusões, porosidades, micro-trincas, entre outros, provocaram, devido as suas interações com a onda, variações a esta. Estes tipos de interações causam diferenças na velocidade de propagação do som no material, onde esta variação é um dos fatores chave para caracterização do mesmo. Esses parâmetros podem ser usados para determinar as constantes elásticas, micro-estrutura, textura e propriedades mecânicas.

Na indústria petroquímica, os constantes monitoramentos das tubulações através de ensaios têm sido usados para prevenir e reduzir falhas catastróficas em tubulações. Dentre todas as técnicas não destrutivas utilizadas, o ensaio de ultra-som mostrou-se um excelente método para acompanhamento da variação microestrutural que leva a fragilização de materiais (HASEGAWA, 1988). Os métodos de medição por ultra-som convencional não apresentam capacidade de detectar a variação de fases em materiais, mas medidas não convencionais como atenuação sônica, sinais retro espalhados, e análise espectral, têm mostrado serem promissoras (HARDIE, 2006). Este trabalho visa utilizar a técnica de inspeção por ultra-som em conjunto a técnica da Dimensão Fractal, para identificação de tratamentos térmicos em um aço SAE 1045 submetidos a diferentes tratamentos, resultando em diferentes microestruturas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geometria dos Fractais

Na natureza há formas que não podem ser descritas pela Geometria Euclidiana, Através de aplicações de simples equações matemáticas e com a ajuda de computadores, que aplicam sobre as equações regras de retroalimentação, é possível obter formas complexas, tais quais as encontradas na natureza. Essa técnica é conhecida como Geometria dos Fractais e nos últimos anos vem aproximando a matemática a outras áreas e se tornando um campo de estudo muito difundido, atingindo o interesse no meio científico.

Matemáticos há muito já tiveram como alvo de seus estudos objetos de formato complexo como Georg Cantor, Guisepe Peano. Mas foi o matemático francês Benoit Mandelbrot, MANDELBROT (1982) que aproximou a Geometria dos Fractais a outras ciências, estudando a geometria de uma ampla variedade de fenômenos naturais irregulares e, na década de 70, concluiu que todas essas formas geométricas tinham algumas características comuns.

2.1.2 Características dos Fractais

- Auto-similaridade, em que cada fractal repete indefinidamente um mesmo padrão, ou seja, uma parte do objeto é semelhante ao todo.
- Podem ser descritos matematicamente, satisfazendo o critério da auto-similaridade.
- Escala, na matemática elementar, duas figuras são semelhantes quando possuem os mesmos ângulos e os lados variam sua dimensão seguindo certa proporcionalidade; é o que se chama escala de aumento ou escala de redução, aplicada aos fractais, com uma matemática mais complexa.

2.1.2 A dimensão Fractal

Segundo a geometria euclidiana, a dimensão de um objeto é igual ao número de coordenadas para localizar um ponto no espaço de tal dimensão. De uma maneira mais prática pode-se dizer que a dimensão euclidiana assume três valores: 1 para uma linha (1D), 2 para um plano (2D) e 3 para o espaço ou volume (3D); a dimensão zero para o ponto é discutida por matemáticos.

Com a criação da geometria dos fractais aparece uma dificuldade em utilizar-se o conceito acima citado. Uma linha, por exemplo: ($d = 1$), quanto mais tortuosa for mais ela se aproximará de um plano de dimensão

euclidiana igual a dois; surgiu daí a idéia de Dimensão Fractal, esta terá um valor inteiro e uma parte decimal, conforme ela esteja entre um ponto e uma linha, entre uma linha e um plano, ou entre um plano e um volume.

2.1.2.1 O Método de contagem das Caixas

Este é um método prático para a determinação da dimensão fractal de uma imagem e está relacionado a auto semelhança. Cobrindo-se a imagem analisada com uma malha regular e conhecendo o tamanho de cada célula S , um número N será obtido através das interações das células com a figura que será função de S , $N(S)$. Em seguida, varia-se S , com valores menores, por conveniência S é reduzido por um fator $\frac{1}{2}$, Computam-se então os novos Valores de $N(S)$, em seguida um gráfico $\log N(S)$ versus $\log (1/S)$ é plotado, se a imagem estudada tiver propriedades fractais a Dimensão Fractal será dada pela inclinação da reta obtida quando são unidos os pontos do plano.



Figura 1 - Interações $S = 1/6$ e $S = 1/12$, $N = 19$ e 52 (SILVA. E.M. 2002)

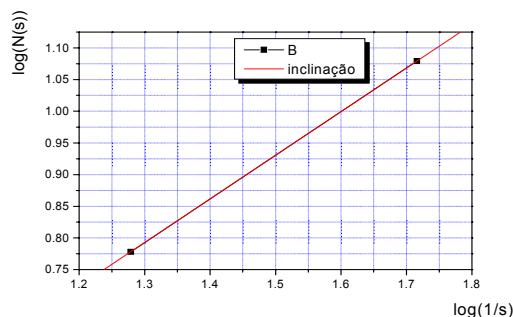


Figura 2 – Exemplo da contagem de caixas usando duas malhas. (SILVA. E.M. 2002)

2.2 Ensaio por Ultra-som

O uso da técnica de ultra-som começa pelo cientista Sokolov, que em 1929 já fazia as primeiras aplicações em materiais metálicos. Treze anos depois Firestone utilizou o princípio da ecosonda para avaliação de materiais. Só em 1945 que a técnica do ultra-som deu início a sua escalada industrial. Esse tipo de técnica é muito utilizada principalmente nas áreas de caldeiraria e estruturas marítimas na verificação da integridade dos materiais, sem danificá-la.

A propagação de ondas ultra-sônicas em materiais policristalinos esta sujeita a interações com grãos e contornos, inclusões, porosidade, microtrincas, etc. Essa interações causam efeitos de perdas de energia (atenuação) e variação de velocidade, na qual são fatores importantes na caracterização dos materiais.

Badidi et al (2003) estudaram o efeito da variação microestrutural sobre medidas de velocidades e atenuação sônicas. Amostras com estruturas variando de martensita até ferrita-perlita, para um aço com 0,4% de carbono, foram obtidas segundo o método de Jominy. Neste trabalho foi observado que os valores de velocidade e atenuação são diretamente proporcionais à dureza do material

A mesma correlação entre dureza e velocidade foi observada por SHIGEYUKI (2000), em amostras de aços inoxidáveis duplex envelhecidas á 475° C, porém os valores de atenuação sônica não foram sensíveis às mudanças estruturais.

PALANICHAMY (1995) estudou a aplicação de medidas da velocidade sônica para determinação do tamanho de grão de aços inoxidáveis austeníticos. Foi observado que a velocidade do som é afetada pelo tamanho de grão, isto é, um aumento de tamanho de grão implicará que as ondas ultrasônicas levarão um caminho mais longo para cobrir as densidades do material, ocorrendo a redução da velocidade do som.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Diferentes amostras de um aço SAE 1045, de dimensões \varnothing 25mm x 12 mm, foram aquecidas até a temperatura de 840° C por 30 min e submetidas aos seguintes tipos de resfriamento: Têmpera em água (TA), Têmpera em óleo (TO), Normalização (N) e recozimento (resfriamento lento dentro do forno) (R). Medidas de durezas Vickers com carga de 150kgf foram realizadas em todas as amostras. A inspeção por ultra-som foi realizada em um aparelho do tipo DIO 562, pela técnica pulso eco, com um transdutor de ondas longitudinais de frequência de 4MHz. A determinação da velocidade sônica foi realizada pela fixação da espessura da amostra e obtenção da faixa de velocidade sônica correspondente à aquela dimensão. Sendo obtida diretamente do aparelho. Para o cálculo da dimensão fractal foi utilizado o método das caixas, através do software de distribuição gratuita, muito difundido no meio acadêmico, IMAGEJ, aplicado às respostas dos ensaios com Ultra-som.

Os valores da atenuação Sônica e da dimensão fractal foram calculados com um intervalo de confiança de 95% .

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

O primeiro objetivo deste estudo foi comparar atenuação sônica a valores de dureza, o que possibilitará a caracterização da microestrutura das amostras, em seguida, os valores obtidos no cálculo da atenuação sônica foram comparados a valores de das dimensões fractais (DF) dos picos de eco de cada amostra.

Os valores obtidos nos testes de dureza variam entre 200 e 800 HV 150 de acordo com o tratamento térmico empregado, como mostra a figura 3.

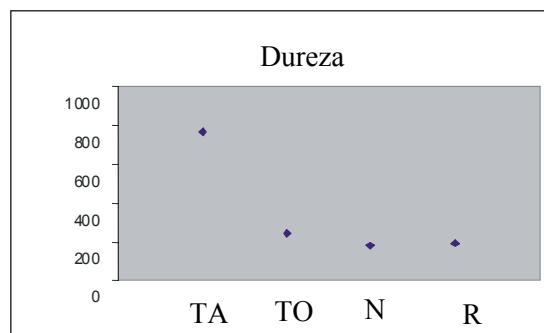


Figura 3 – Dureza Vickers variando em função do tratamento térmico.

A atenuação Sônica foi calculada através da equação:

$$G = (20 \cdot \ln(A/A_0)) / Y \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde: G é o ganho em Dbs;

A e A0 são os valores dos picos de eco.

Y é o comprimento da amostra

A figura 4 mostra os valores encontrados para atenuação sônica.

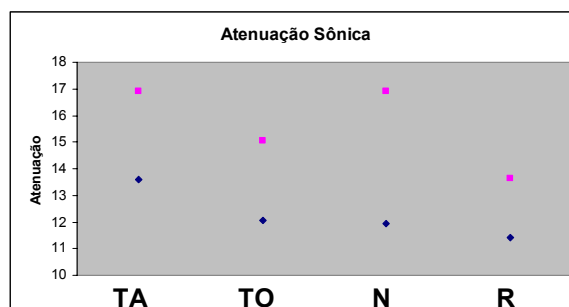


Figura 4- Atenuação Sônica (Db) Valores apresentados com um intervalo de confiança de 95% variando em função do tratamento térmico.

Analisando as figuras 3 e 4 que representam o aumento da dureza e a atenuação sônica em relação ao tratamento térmico, é possível observar que a atenuação sônica é diretamente proporcional a dureza da micro estrutura. Os valores apresentam esta variação devido à influência da microestrutura encontrada em cada amostra.

A maior atenuação ocorre na tempera em água e é devido a uma quantidade elevada de distorções tetragonais do reticulado e a anisotropia. Nesta circunstância há uma concentração elevada de contornos de grão que agem como barreiras à propagação sônica.

Na amostra que sofreu recozimento, a microestrutura presente é perlita-ferrita grossa, uma vez que as distorções dos planos cristalográficos neste tratamento são menores que no caso anterior, a atenuação do sinal é menor.

Trabalhos anteriores realizados por BADIDI (2003) tiveram objetivos similares, observar a sensibilidade a mudanças microestruturais da atenuação sônica, porém em seu estudo utilizou aços E24, A60 e S300PB, observando que a atenuação sônica, é, afetada, principalmente, pelas mudanças nos módulos elásticos de cada grão e pela mudança da direção cristalográfica dos mesmos.

As diferenças entre o aço aqui estudado e os estudados por BADIDI (2003) são, principalmente, o grau de temperabilidade das amostras, o comportamento da atenuação sônica segue o mesmo padrão.

Para cada amostra, a dimensão fractal foi calculada e seus dados plotados no gráfico abaixo.

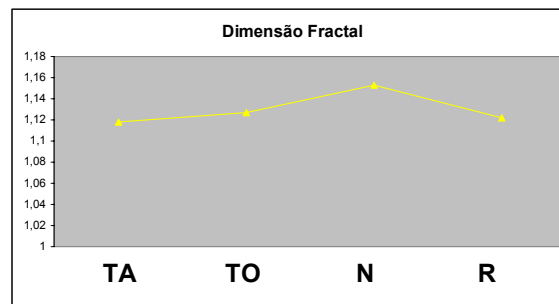


Figura 5– Dimensão Fractal em função do tratamento térmico empregado.

É possível observar que a dimensão fractal não variou seguindo o mesmo padrão da atenuação sônica ou da dureza. Tão pouco apresentou valores com relativa diferença para cada tratamento térmico. Isto ocorre devido à natureza dos picos de eco que não variam de forma em uma mesma estrutura, mudando apenas sua escala.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, as relações entre as durezas de amostras de um aço SAE 1045 foram estudadas e comparadas a análises de atenuação sônica, os teste mostraram que a mesma apresentou-se sensível a variações microestruturais obtidas através de diferentes tratamentos térmicos. Observando que a variação dos módulos elásticos afeta a propagação de ecos nas amostras. Entretanto a atenuação Sônica não é capaz de produzir variações na Dimensão Fractal, o estudo mostra que diferentes tratamentos térmicos geram mínimas diferenças entre os picos de eco de cada amostra para o aço estudado.

REFERÊNCIAS

- BADIDI, A., LEBAILI, S. **Grain size influence on ultrasonic velocity and attenuation**. NDT & International, v. 36, pp.1-5, 2003.
- HARDIE D., CHARLES E. A. AND LOPEZ A. H., **Hydrogen embrittlement of high strength pipeline steels**. 2006.
- HASEGAWA Y. **Failures from hydrogen attack and their methods of detection**. Welding International, 1988, 6: 514-521.
- KAWANO K. BIRRING A. S. **Hydrogen damage detection by a nondestructive testing technique**. Mat. Performance. 1089. august. 71-74.
- KRUGER S. E., RABELLO J. M. A., **Hydrogen damage detection by ultrasonic spectral analysis**. NDT & International. 1999. 37. 275-281.
- KRUGER, S. E. ; REBELLO. **Aplicação da análise espectral de ecos e do sinal retro espalhado na detecção de danos por hidrogênio em aços**. In XIV CONEND. Rio de Janeiro, pp. 72-79, 1995.
- MANDELBROT, B. B. **The fractal geometry of nature**. New York, W.H. Freeman and company. 1982
- PALANICHAMY, P., **ultrasonic velocity measurement for estimation of grain size in austenitic stainless steel**. NDT & Int. 28 pp. 179-185. 1995.
- SHIEGEYUKI, H. W. **Ultrasonic detection of thermal embrittlement of duplex stainless steel**. International Conference on Nuclear Engineering, v.5, ASME, pp 215-223, 2000.
- SIDDIQUI R. , HUSSEIN A., **Hydrogen embrittlement in 0,31% carbon steel used for petrochemical applications**, J. Mat. Processing Technology, 2005, 430-435.
- SILVA. E. M **Análise da superfície de fratura do aço inoxidável duplex UNS S31803 através da aplicação da geometria dos fractais**. Dissertação de Mestrado – UFC, Fortaleza, 2002.
- SZILARD J. HAYNES R. **Ultrasonic detection of hydrogen embrittlement in free-cutting mild steel**. J. NDT 1980 May 128-136.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Antonio Almeida Silva da UFCG por ter nos permitido utilizar seus equipamentos para obtenção dos dados estudados.