

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA, MICROESTRUTURA E DUREZA NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ULTRASSÔNICAS EM INSPEÇÃO DE AÇOS C-Mn

Elisa Cristina Gonçalves Tavares¹

Fagner de Paula Marques²

Roldão Queiroz³

RESUMO

O uso da técnica do Ultrassom para realização de ensaios não destrutivos em empresas siderúrgicas e estruturas em geral, é amplamente utilizada para garantia da qualidade e controle de peças e equipamentos. Essa técnica exige grandes habilidades no ensaio e o conhecimento das variáveis, tais como as propriedades do material quanto a sua composição química, microestrutura e dureza, bem como os padrões de referência e a velocidade das ondas ultrassônicas a ser aplicada. Sendo assim, objetiva o presente trabalho verificar a influência da composição química, microestrutura e dureza na velocidade de propagação das ondas ultrassônicas em inspeção de aços Carbono-Manganês e seus resultados através de pesquisa exploratória de cunho qualitativo e quantitativo em amostras dos principais aços fabricados por uma empresa siderúrgica, aplicando metodologia comparativa padrão/amostra.

Palavras chave: Velocidade de propagação de ondas, Aço C-Mn, Inspeção ultrassônica, Microestrutura, Dureza.

ABSTRACT

The use of ultrasound technique for performing non-destructive testing on steel companies and structures in general is widely used for quality assurance and to control pieces and equipments. This technique requires great skills in the tests and variables knowledge, such as material properties as their chemical composition, microstructure and hardness, as well as reference standards and the speed of the ultrasonic waves being applied. Thus, the objective of this study is to verify the influence of the chemical composition, microstructure and hardness in the propagation speed of the ultrasonic waves inspection carbon-manganese steels and their results through exploratory research of qualitative and quantitative nature in the main steel samples manufactured by a steel company, applying comparative methodology standard / sample.

Keywords: Speed of wave propagation, Steel C-Mn, Ultrasonic Inspection, Microstructure, Hardness.

¹ Engenheiro de Produção pela FASAR – Email: fagnerpmarques@hotmail.com

² Doutor em Química Universidade Estadual de Campinas. E-mail: roldaoqueiroz@hotmail.com

³ Mestrado em Ciências pelo Programa de Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável. E-mail: elisa_cgt@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

A utilização da técnica de ensaio não destrutivo pelo método de Ultrassom, é amplamente utilizada em indústrias siderúrgicas e estruturas em geral. Para se realizar a inspeção de materiais utilizando a técnica do Ultrassom, são fundamentais a experiência e o conhecimento do observador em relação à técnica e ao material a ser inspecionado. Sabe-se também que a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas possui uma grandeza de referência para os diferentes materiais, como o aço, borracha, madeira. Porém, dependendo da aplicação do produto, as propriedades físicas e químicas, ainda que ligeiramente, são diferentes. Diante do exposto, este trabalho pretende avaliar através de pesquisa exploratória de cunho qualitativo e quantitativo como essas variáveis interferem nos ensaios. Para tal, este experimento foi realizado numa empresa siderúrgica de produção de tubos de aço sem costura na região do Alto Paraopeba.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Tubos de aço sem costura são tubos isentos de cordão de solda na direção longitudinal ou helicoidal. Em geral, são empregados na construção de dutos para extração de petróleo, revestimento de poços de extração de petróleo, transporte de combustíveis líquidos e gasosos, em usinas nucleares, sistemas de aquecimento ou arrefecimento entre outros (Carvalho, 2007).

Rizzo (2008) se refere à laminação como um processo de conformação no qual o material é forçado a passar entre dois cilindros, girando em sentidos opostos, com praticamente a mesma velocidade superficial e espaçados entre si a uma distância menor que o valor da dimensão inicial do material a ser deformado, sendo que ao passar entre os cilindros, a tensão promove uma deformação plástica no produto em processamento.

Segundo Silva (2010), para se atingir valores adequados de resistência mecânica e tenacidade, deve-se, logo após a têmpera, proceder ao revenimento. Este tratamento consiste em aquecer uniformemente até uma temperatura abaixo daquela de

austenitização, mantendo o aço nesta temperatura por tempo suficiente para equalização de temperatura e obtenção das propriedades desejadas.

2.1 TÉCNICA DE INSPEÇÃO POR ULTRASSOM

Algumas medições são obtidas através da destruição das peças, chamadas de ensaios destrutivos. Outras medições são obtidas sem destruir as peças, ao qual são chamadas de ensaios não destrutivos (END), garantindo assim que as peças não sofram qualquer avaria e perda das características de requisitos, podendo ser fornecidas após estas medições comparativas (Martin, 2012).

Dentre os processos de ensaios não destrutivos, o método ultrassônico de pulso eco ocupa posição de destaque, uma vez que, entre outros benefícios, possibilita a detecção de defeitos internos e externos em materiais geralmente metálicos, com uma sensibilidade que nem sempre é alcançada pelos outros processos de ensaio não destrutivo em condições de igualdade (Martin, 2012).

2.2 USO DE ULTRASSOM PARA ESTUDAR PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Segundo Martin (2012) o interesse crescente pelo ultrassom não é só na detecção de falhas, caracterização e dimensionamento de defeitos, mas também na caracterização dos materiais. As aplicações vão desde a determinação de características fundamentais da microestrutura, tais como porosidade, tamanho e orientação preferencial dos grãos, até as propriedades dos materiais relacionados aos mecanismos de falha, como fadiga, fluência e tenacidade à fratura.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para se conhecer a real velocidade sônica a ser utilizada em um aço específico, é necessário que se conheça as principais variáveis que possam interferir direta ou indiretamente na propagação das ondas ultrassônicas. Para determinar essas variáveis específicas, é necessário que se tenha amostras de cada tipo de aço e estado e realize determinados ensaios para quantificar as diferenças entre os variados tipos em estudo. As características principais que devem ser analisadas, são: composição química, microestrutura e dureza.

No estado temperado foi utilizado apenas o aço 1. Para o estado temperado e revenido, duas temperaturas de revenimento foram utilizadas nos aços 1 e 2, com o

objetivo de atingir dois graus diferentes, L80 e P110 de acordo com a norma API5CT. A Tabela 1 apresenta a matriz dos testes.

Tabela 1 - Matriz de testes

AÇO	ESTADO			
	LAMINADO	TEMPERADO	GRAU L80	GRAU P110
1	X	X	X	X
2	X		X	X
3	X			
4	X			

Fonte: Próprio autor

Como pode ser observado na Tabela 1, foram utilizados nove diferentes graus de aço para o estudo, possibilitando uma amostra considerável e válida para a pesquisa. As temperaturas de revenimento utilizadas para os graus L80 e P110 estão apresentadas na Tabela 2:

Tabela 2 - Temperaturas de revenimento

AÇO	GRAU L80	GRAU P110
1	675°C	520°C
2	735°C	605°C

Fonte: Próprio autor

As temperaturas foram ajustadas para que cada aço atingisse as características dos graus propostos.

Preparação dos corpos de prova (CP)

Foram segregadas uma amostra de 380mm de comprimento de tubo de aço sem costura laminado a quente dos aços 1, 2, 3 e 4. Estas amostras necessariamente possuíam parede maior que 10mm de espessura e sem especificação para diâmetro, ao qual não interferiu no trabalho.

Em cada amostra no estado laminado, foi retirada uma tira de 380 x 30 mm em seu sentido longitudinal, e estas enumeradas conforme definido na Tabela 1. Cada tira de tubo foi segmentada em pedaços de 30 x 30 mm, e cada segmento foi gravado o número de sua sequência.

O mesmo procedimento de segmentação também foi aplicado para os aços 2, 3 e 4, sendo enumerados conforme o número do aço e sequência de segmentação. Os corpos de prova 1.1, 2.1, 3.1 e 4.1 no estado laminado foram preparados e ensaiados para Check Análise. Os corpos de prova 1.3, 2.3, 3.3 e 4.3 no estado laminado foram preparados para o ensaio de microestrutura. O corpo de prova 1.8 no estado laminado

foi somente temperado conforme mostra a matriz de testes da Tabela 1. Os corpos de prova 1.4, 1.5, 2.4 e 2.5 no estado laminado foram temperados e revenidos conforme "Grau L80" e os corpos de prova de número 1.6, 1.7, 2.6 e 2.7 no estado laminado foram temperados e revenidos conforme "Grau P110", cujas temperaturas estão descritas na Tabela 2.

Os corpos de prova 1.4, 2.4, 1.6 e 2.6 no estado temperado e revenido, foram preparados para ensaio de microestrutura. Os corpos de prova 1.8 no estado temperado e 1.5, 2.5, 1.7 e 2.7 no estado temperado e revenido, foram usinados e retificados. Estes tiveram seus respectivos números gravados em sua lateral.

ENSAIO QUÍMICO

Cada corpo de prova foi usinado nas dimensões de 30 x 30mm e gravadas seu número na lateral com caneta pneumática para garantir a rastreabilidade. As arestas foram lixadas em lixadeira desbastadora para remoção das rebarbas. Todo o lixamento foi feito em granulometria entre #40 mesh a #120 mesh evitando o aquecimento dos corpos de prova.

O ensaio de análise química foi efetuado por Espectrometria de Emissão Ótica (EEO) seguindo os requisitos da norma ASTM E415, num equipamento com software de operacionalização de modelo Oxsas, com pressão da câmara entre 1 e 25 μm Hg e temperatura entre 37 e 39°C, com fluxo de vazão de argônio de 1,5 L/min dentro da câmara de análise e potência do fotomultiplicador de 1000 Vdc com o eletrodo à uma altura de 3mm da superfície a ser analisada. Foram feitas duas queimas reproduzíveis sem sobreposições, e após cada queima, o eletrodo foi limpo com escova de metal para evitar contaminação do próximo ensaio bem como aumentar a intensidade da radiação espectral. O equipamento utilizado para fazer a análise química dos corpos de prova está ilustrado na Figura 1:

Figura 1 - Equipamento de análise química (Espectrometria de Emissão Ótica)



Fonte: Empresa estudada

ENSAIO DE MICROESTRUTURA

Os corpos de prova 1.3, 2.3, 3.3, 4.3, 1.4, 1.6, 2.4 e 2.6 foram usinados nas dimensões de 30 x 30mm e gravados seus respectivos números na lateral com caneta pneumática para garantir a rastreabilidade. O lado oposto da marcação do número de cada corpo de prova foi lixado em lixadeira desbastadora para remoção das rebarbas sem quebrar as quinas. Todo o lixamento foi feito em granulometria #100 mesh evitando o aquecimento dos corpos de prova, que foram analisados quanto à microestrutura com o equipamento microscópio ótico de luz refletida do tipo Leica DM4000 M-1, conforme ilustrado na Figura 2:

Figura 2 - Microscópio ótico de luz refletida do tipo Leica DM4000 M-1



Fonte: Empresa estudada

Foi feita a varredura na superfície próxima ao meio da parede do CP no sentido longitudinal e informado a microestrutura predominantemente encontrada.

ENSAIO DE DUREZA

O ensaio de dureza foi realizado para comprovar o atendimento aos requisitos da norma API5CT para classificação dos diferentes graus de aço. Os corpos de prova 1.3, 2.3, 3.3, 4.3, 1.4, 1.6, 2.4 e 2.6 utilizados para análise metalográfica, logo após sua realização, foram direcionados para a análise de dureza. Foram utilizados para execução das análises os equipamentos de modelos Emcotest e Ernst, ilustrados na Figura 3, sendo o primeiro a operacionalização para realização das três leituras toda em automática e o segundo semiautomática. Foram para a análise nos métodos HRC (Dureza Hockwel: carga de 150Kg) e HV (Dureza Vickers: com carga de 10Kg) para o ensaio de dureza. No método HRC foi utilizado um diamante em forma de cone, e no método HV10 um diamante em forma piramidal no ângulo de 136°. Para interpretação dos resultados foi utilizado a norma ASTM E140 2B.

Figura 3 - Equipamentos Emcotest e Ernst



Fonte: Empresa estudada

CALIBRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA USINADOS E RETIFICADOS

Para calibração dos corpos de prova usinados e retificados, foi utilizado o equipamento medidor de altura do tipo Tesa Micro-Hite Plus M600, com resolução de 0,001mm e apoiado em uma mesa nivelada de granito, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Medidor de altura



Fonte: Empresa estudada

O ambiente de realização das calibrações é controlado, com temperatura de 18°C a 22°C, objetivando sempre 20°C e uma umidade relativa do ar de 50%. Antes de iniciar as medições, o equipamento é verificado contra o bloco padrão de serviço, e logo após a verificação, são feitas as medições em cada corpo de prova com uma repetição de 3 ciclos e 5 medições em cada ciclo. Os valores foram lançados em uma planilha de Excel onde as fórmulas para cálculo das incertezas e desvio padrão são automáticas, seguindo a norma ISO GUM.

MEDIÇÕES DOS CORPOS DE PROVA COM O EQUIPAMENTO DE ULTRASSOM

A medição da espessura para determinar a velocidade de propagação das ondas é o fator determinante deste trabalho. Para tal, fatores como meio ambiente, insumos, acessórios, frequência e sequência de medições não puderam variar, sendo estabelecido um grau de igualdade para as condições das medições realizadas.

Para realização das medições, foram utilizados: um aparelho de ultrassom do tipo DM5E calibrado e com comprovação metrológica, um transdutor duplo cristal de efeito piezoelétrico com frequência de 5MHz, um cabo coaxial, um bloco padrão escalonado com um degrau de 8mm e como acoplante uma mistura de metil celulose com água e álcool etílico. Todos os itens utilizados para a realização das medições foram equalizados a uma temperatura ambiente de aproximadamente 20° C e umidade do ar de 50%, ou seja, esses permaneceram nestas condições por um período de 12h antes e durante as medições.

A técnica utilizada para a medição por ultrassom foi a pulso eco, onde o tempo de resposta, ou seja, o tempo que uma onda é refletida e volta para o cabeçote, sendo a distância percorrida conhecida, pode-se determinar a velocidade de propagação em cada corpo de prova. Antes de iniciar as medições nos corpos de prova, o equipamento foi ajustado contra o bloco padrão escalonado na espessura de 8mm e em seguida foram realizadas as medições em 3 ciclos de 5 repetições em cada corpo de prova, e os resultados registrados em uma tabela de dados.

Concluídos os ciclos de medições ao qual tiveram como referência o bloco padrão escalonado, em seguida, foram realizados mais 8 repetições de ciclos de medições, porém, para cada repetição o equipamento de ultrassom foi ajustado em um corpo de prova e seus valores registrados em uma tabela de dados. Nas medições em que o corpo de prova de estado temperado foi utilizado como referência, somente o aço 1 em seu estado temperado e revenido para os graus L80 e P110 foi utilizado para comparação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 mostra o resumo dos resultados da velocidade de propagação das ondas ultrassônicas efetuados nos variados aços e estados:

Tabela 3 - Velocidade sônica

Aço	Estado	Velocidade (m/s)
1	Laminado	5958
	T+R (L80)	5971
	T+R (P110)	5955
	Temperado	5926
2	Laminado	5979
	T+R (L80)	5985
	T+R (P110)	5974
3	Laminado	5966

4	Laminado	5970
---	----------	------

Fonte: O próprio autor

Pode-se observar com o resumo dos resultados da Tabela 3 que a velocidade de propagação é diferente nos variados aços e estados, demonstrando que as particularidades de cada um interferem na velocidade de propagação das ondas ultrassônicas. A Tabela 4 mostra os resultados da composição química dos aços 1, 2, 3 e 4 no estado laminado e a velocidade das ondas ultrassônicas nestes aços:

Tabela 4 - Composição química versus velocidade sônica

Aço	Composição Química		
	Carbono (%)	Carbono Equivalente (%)*	Velocidade (m/s)
1	0,24	0,48	5958
2	0,24	0,58	5979
3	0,39	0,65	5966
4	0,19	0,39	5970

Fonte: O próprio autor

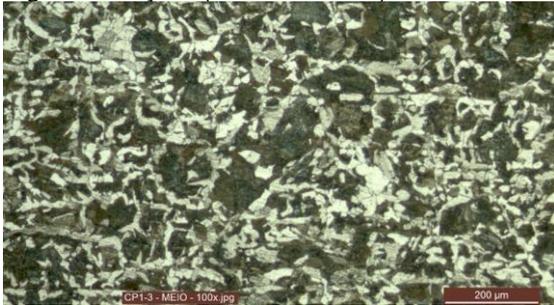
$$* CE = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{(\%Cr + \%Mo + \%V)}{5} + \frac{(\%Ni + \%Cu)}{15} \quad [API\ Spec\ 5L]$$

Os aços 1 e 2 apresentam o mesmo percentual de carbono e o carbono equivalente com 0,1% de diferença, entretanto no aço 1 a onda ultrassônica obteve uma menor velocidade para percorrer a mesma distância do aço 2, sendo observado uma diferença de 21 m/s entre ambas. Já os aços 3 e 4 que apresentam o percentual de carbono e carbono equivalente com diferença de 0,2% e 0,26% respectivamente, foram observadas velocidades das ondas ultrassônicas bem próximas, demonstrando uma pequena diferença de 4 m/s.

Conforme os resultados mostrados na Tabela 4, pode-se observar que não há uma relação direta da composição química com a velocidade das ondas ultrassônicas em um produto no estado como laminado.

Como foi demonstrado, a composição química não tem uma relação direta com a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas, é necessário verificar a influência da microestrutura. Para tal, os resultados de microestrutura dos aços no estado laminado foram feitos para se realizar esta análise. As Figuras 5 a 8 mostram os resultados encontrados:

Figura 1 - Aço 1 (Ferrita+Perlita)



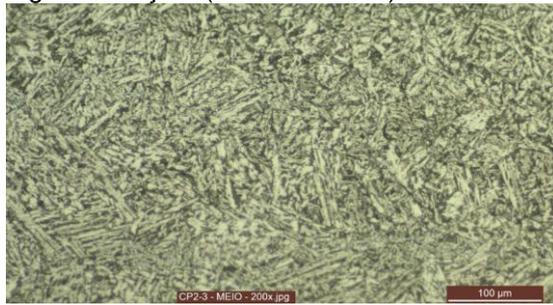
Fonte: O próprio autor

Figura 3 - Aço 3 (Ferrita+Perlita)



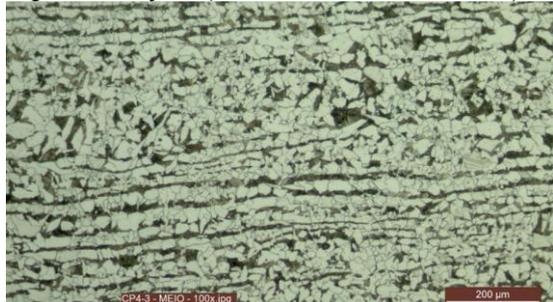
Fonte: O próprio autor

Figura 2 - Aço 2 (Bainita+Ferrita)



Fonte: O próprio autor

Figura 4 - Aço 4 (Ferrita+Perlita Bandeada)



Fonte: O próprio autor

Para comparar os resultados de microestrutura com a velocidade de propagação, os resultados foram colocados na Tabela 5 para facilitar a observação desta relação:

Tabela 5 - Microestrutura versus velocidade sônica

Aço	Microestrutura	Velocidade (m/s)
1	Ferrita + Perlita	5958
2	Bainita + Ferrita	5979
3	Ferrita + Perlita	5966
4	Ferrita + Perlita (Bandeada)	5970

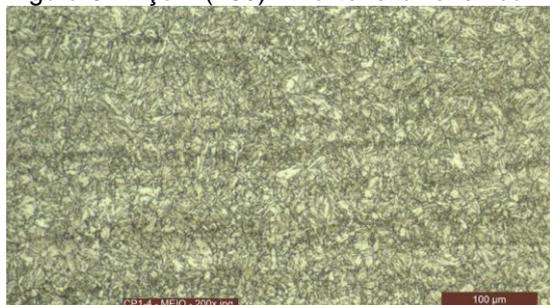
Fonte: O próprio autor

Pode-se observar na Tabela 5 que os aços compostos de Ferrita e Perlita possuem uma velocidade de propagação das ondas ultrassônicas menores do que o composto de Bainita e Ferrita. É observado também que o aço 4 composto de Ferrita e Perlita (Bandeada) apresenta uma maior velocidade de propagação das ondas ultrassônicas em relação aos aços 1 e 3. Conforme discussão sobre os resultados da Tabela 5 observa-se que a microestrutura tem uma relação direta com a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas.

Para que seja observada a relação da dureza com a velocidade das ondas ultrassônicas, foi necessário eliminar as variáveis microestrutura e composição química. Para tal, os aços 1 e 2 foram tratados termicamente para dois graus distintos

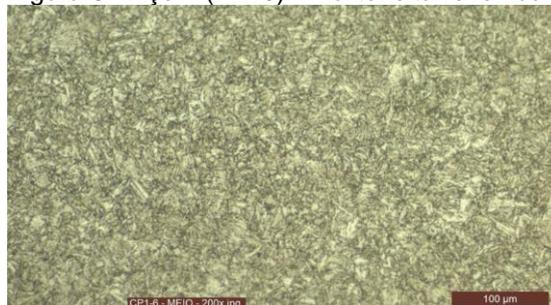
(L80 e P110) conforme norma API5T, cujas temperaturas de revenimento estão demonstradas na Tabela 2. Os resultados de microestrutura para os dois graus distintos estão demonstrados nas Figuras 9 a 12:

Figura 5 - Aço 1 (L80) - Martensita revenida



Fonte: O próprio autor

Figura 6 - Aço 1 (P110) - Martensita revenida



Fonte: O próprio autor

Figura 7 - Aço 2 (L80) - Martensita revenida



Fonte: O próprio autor

Figura 8 - Aço 2 (P110) - Martensita revenida



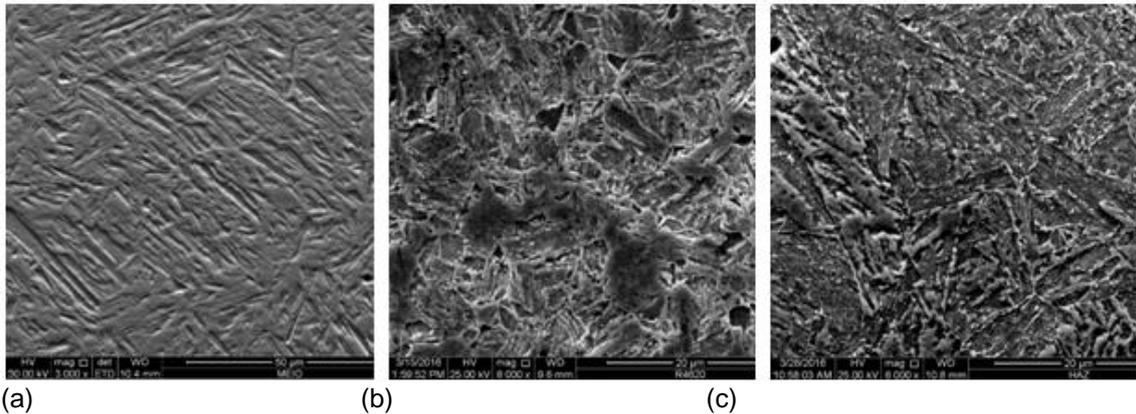
Fonte: O próprio autor

Para uma melhor observação, a Figura 13 mostra a análise microestrutural do aço 1 após 3 condições de tratamento:

- (a) resfriamento rápido em água (têmpera), com formação de martensita;
- (b) revenimento à temperatura de 520°C para formação do grau P110, mostrando a formação de carbonetos;
- (c) revenimento à temperatura de 675°C com maior formação de carbonetos em relação à condição (b), condição esta devido à maior difusão do carbono para fora da estrutura martensítica.

Os carbonetos nas microestruturas ilustradas na Figura 13 são representados pelos "pontos" brancos.

Figura 9 - Análise de microscopia usando o MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura)



Fonte: O próprio autor

Para comparar os resultados de dureza com a velocidade das ondas ultrassônicas, os resultados foram colocados na Tabela 6 de forma a facilitar a observação desta relação:

Tabela 6 - Dureza versus velocidade sônica

Aço	Estado	Microestrutura	Dureza (HRC)	Velocidade (m/s)
1	T+R (L80)	Martensita Revenida	17,9	5971
	T+R (P110)	Martensita Revenida	29,7	5955
	Temperado	Martensita	47,8	5926
2	T+R (L80)	Martensita Revenida	18,6	5985
	T+R (P110)	Martensita Revenida	29,5	5974

Fonte: O próprio autor

Comparando os resultados das velocidades das ondas ultrassônicas e dureza nos aços 1 e 2 separadamente, observa-se uma relação inversa entre ambas, pois, quanto maior a dureza menor é a velocidade sônica. Para a dureza de 47,8HRC a velocidade sônica foi de 5926m/s, enquanto que para a dureza de 17,9HRC a velocidade aumentou para 5971m/s (representando um aumento de 0,76% da velocidade sônica na martensita). Isto pode ser explicado pelo fato da martensita representar uma resistência maior à propagação de energia sônica, provavelmente devido à dificuldade dos átomos de ferro oscilar em uma estrutura martensítica. Já após "aliviar" a estrutura no revenimento, com a saída de átomos de carbono, formando os carbonetos, aumenta-se a probabilidade de oscilação dos átomos de ferro, o que representa facilidade na propagação da energia sônica.

Para se verificar a influência da velocidade sônica nos resultados das medições, em cada ciclo de medição foi usado um corpo de prova como referência. A Tabela 7 mostra um resumo dos ciclos de medições com as respectivas médias dos valores

medidos e a velocidade sônica utilizada, bem como destacados os valores dos respectivos corpos de prova de referência dentro do ciclo:

Tabela 7 - Média dos valores medidos

Ciclo de medição	Velocidade (m/s)	Valores médios das medições (mm)								
		Bloco padrão	1	2	3	4	1 (L80)	2 (L80)	1 (P110)	2 (P110)
1	5987	8,00	8,04	8,01	8,04	8,04	8,02	8,00	8,04	8,01
2	5958	7,97	8,00	7,98	8,01	8,00	7,99	7,96	8,01	7,99
3	5979	8,00	8,01	8,00	8,02	8,02	7,99	7,97	8,01	7,99
4	5966	7,96	7,99	7,97	8,00	8,00	7,97	7,96	8,00	7,97
5	5970	7,97	8,01	7,97	8,00	8,00	7,99	7,97	8,02	7,99
6	5971	7,98	8,01	7,98	8,01	8,01	8,00	7,97	8,01	7,99
7	5985	8,00	8,02	8,00	8,02	8,02	8,00	8,00	8,02	8,00
8	5955	7,97	8,00	7,97	8,00	7,98	7,97	7,95	8,00	7,98
9	5974	7,97	8,00	7,97	8,00	8,00	7,97	7,95	7,99	8,00

Fonte: O próprio autor

Pode-se observar com os resultados demonstrados na Tabela 7 que as velocidades das ondas ultrassônicas são ideais para os aços usados como referência dentro do ciclo, pois, a média das medições está de acordo com a espessura do corpo de prova referência, conforme destacado. A maior diferença entre todas as medições é de 0,09mm e de 32m/s na velocidade das ondas ultrassônicas. Pode-se observar ainda que dentro de um mesmo ciclo de medição, tem-se uma diferença de 0,05mm entre os corpos de prova utilizando uma mesma velocidade de propagação.

CONCLUSÃO

A velocidade de propagação das ondas ultrassônicas interfere diretamente nos resultados de inspeção pela técnica do ultrassom, pois esta define, conforme o tempo de resposta, a distância ao qual as ondas percorreram dentro do material, porém, se tratando de uma distância conhecida, é possível verificar a real velocidade de propagação das ondas sônicas em um determinado tipo de material. Diante dos testes apresentados, pode-se observar que mesmo se tratando de aço, mesmo com propriedades físicas e químicas ligeiramente diferentes, têm influência direta e/ou indireta à velocidade de propagação das ondas ultrassônicas.

De acordo com os resultados e discussões, pode-se concluir que para uma maior precisão no ensaio não destrutivo utilizando a técnica do Ultrassom, mesmo que ainda inspecionando o material “aço”, é recomendável que se tenha padrões com propriedades físicas e químicas similares ao material a ser inspecionado, pois quando

há uma diferença nestas propriedades entre padrão e produto, observou-se que os valores são diferentes, o que representa um erro que pode levar a rejeitar um produto que poderia ser liberado, ou aprovar um produto que deveria ser rejeitado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALLISTER, Willian D., RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8ª edição, LTC, 2012.

CARVALHO, R. N. **Aspectos da Precipitação e da Recristalização na Laminação Contínua de Tubos sem Costura**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2007. 231p. (Tese, Doutorado em Engenharia Metalúrgica).

MARTIN, César Coppen. **Ultrassom - Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção - Abendi**. 1ª ed. São Paulo, Abendi, 2012.

RIZZO, Ernandes Marcos da Silveira. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico: 2008**. Brasília: Centro de Gestão e Estudo Estratégico, 2008.

SILVA, André Luiz V. da Costa e, MEI, Paulo Roberto. **Aços e ligas especiais**. 3ª Edição. São Paulo: Blucher, 2010.