

INTRODUÇÃO AO USO DO ULTRA-SOM EM PEÇAS FUNDIDAS ⁽¹⁾

MÁRIO M. ZANELLA ⁽²⁾

RESUMO

O autor aborda, inicialmente, os princípios da produção e propagação de ondas ultra-sonoras em um meio sólido. A seguir faz alguns comentários sobre os métodos de controle de peças fundidas e os cuidados no uso das ondas de alta frequência, bem como, as dificuldades de uma interpretação judiciosa do resultado de um ensaio. Finalmente, apresenta alguns defeitos característicos seguidos de exemplos práticos.

I — INTRODUÇÃO

A finalidade do aparelho ultra-sônico é o exame não destrutivo de materiais pelo uso de ondas elásticas, pulsadas ou não, com frequência de alguns megaciclos por segundo. Estas ondas sonoras possuem um grande coeficiente de reflexão no limite metal-ar, o que as faz retornar assim que encontram qualquer descontinuidade no meio em que se propagam, detectando assim os defeitos pela “sombra” ou “ecos” produzidos.

Na prática são empregados na inspeção de peças com o propósito de verificar em seu interior heterogeneidades (tais como trincas, porosidades, bolsas, segregações), ou então, verificar a perfeição de uma solda, caldeamento ou enchimento.

O estudo da energia ultra-sônica como ciência separada começou em 1920, quando as vibrações acústicas de alta frequência foram primeiramente empregadas para comunicação através da água. Isto precedeu ao sonar usado na segunda guerra mundial.

Sabe-se que o som é uma vibração de natureza elástica e que, ao se deslocar, provoca pequenos movimentos sucessivos

(1) Contribuição Técnica n.º 398. Apresentada no XV Congresso da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Chefe da Divisão de Pesquisas, da CSN; Volta Redonda, RJ.

de partículas elementares do meio percorrido pelas ondas; portanto, as ondas só se propagam em um meio material. Sua frequência é audível pelo homem entre 16.000 a 18.000 ciclos; acima desta faixa temos o *ultra-som* e abaixo o *infra-som*.

O emprêgo de ondas de alta frequência no exame de sólidos só foi possível após o conhecimento da propriedade que certos cristais possuem (entre os quais o quartzo), de se tornarem opostamente eletrificadas as suas superfícies ao serem submetidos a uma pressão mecânica. Esta propriedade é chamada "Efeito Piezoelétrico". O inverso também ocorre; o cristal muda de dimensões quando os lados opostos são submetidos a um campo elétrico alternado e passa a vibrar com a frequência da eletricidade empregada. Assim pode-se mudar a frequência da lâmina mudando a da corrente elétrica aplicada.

Para que haja o efeito piezoelétrico, a lâmina deve ser cortada de acordo com certa orientação aos eixos cristalográficos. Sua espessura não influi na frequência, mas sim na amplitude das vibrações, a qual é máxima quando a frequência da eletricidade é igual à frequência das vibrações próprias da lâmina.

O aparelho ultra-sônico de ensaios utiliza um cristal piezoelétrico em forma de disco, o qual emite e recebe estas ondas de alta frequência, permitindo desta forma analisar o meio em que elas se propagam. O progresso da aparelhagem ultra-sônica está intimamente ligado ao da eletrônica, em particular a técnica das impulsões curtas, tais como radar, televisão e sonar.

II — PROPAGAÇÃO DAS ONDAS

É confirmado por fatos que as leis de propagação das ondas ultra-sônicas (tais como reflexões, refração e difração) são análogas às leis da ótica geométrica. Possuindo as mesmas propriedades das ondas elásticas, e, devido a alta frequência, apresentam também propriedades específicas. Por exemplo, com a frequência da ordem de megacíclos, o ângulo de abertura do feixe de ondas é tão pequeno que se pode aplicar o termo "raio ultra-sônico"; êste fato nos dá a possibilidade de o dirigirmos como um jato de luz em um meio sólido.

As vibrações são transmitidas por meio de uma cabeça emissora (transdutor) para a superfície de um corpo a examinar, usando-se como agente de contacto um líquido ou graxa.

1 — TIPOS DE ONDAS: A propagação de uma onda sonora pode ser de diversas maneiras, daí ter-se ondas longitudinais,

transversais (cisalhamento) e superficiais. Cada uma das quais corresponde a um movimento particular dos elementos do meio de acordo com o tipo de onda e a trajetória percorrida por estes elementos denomina-se órbita.

Nas *ondas longitudinais* o seu sentido de propagação é o mesmo onde as alterações de pressão ou velocidade se efetuam; sua órbita é, portanto, paralela à direção de propagação. A velocidade das ondas longitudinais é dada pela relação:

$$V_L = \sqrt{\frac{E(1-P)}{d(1+P)(1-2P)}} \quad \begin{array}{l} V_L = \text{Veloc. ondas longit.} \\ E = \text{Módulo de Young} \\ P = \text{Módulo de Poisson} \\ d = \text{Densidade} \end{array}$$

Estas ondas são as mais empregadas, devido à facilidade de sua produção, propagação e recepção em qualquer meio como o gasoso, líquido ou sólido.

Análogamente, uma *onda transversal* se propaga com uma direção perpendicular à direção das alterações de pressão ou velocidade das partículas e sua velocidade é grosseiramente a metade das ondas longitudinais. Sua velocidade é dada por:

$$V_T = \sqrt{\frac{G}{d}} \quad \begin{array}{l} V_T = \text{Veloc. ondas transversais} \\ G = \text{Módulo de Coulomb} \end{array}$$

Estas ondas não se propagam nos líquidos ou gases porque estes meios não apresentam elasticidade ao cisalhamento.

As *ondas superficiais*, ou de Rayleigh, são as compostas de movimentos elementares do tipo longitudinal e transversal; deslocam-se somente na superfície do meio, sem contudo influírem nas vibrações que se propagam no interior. São usadas principalmente na pesquisa de defeitos superficiais. Sua velocidade é:

$$V_S = 0,9 \sqrt{\frac{G}{d}} \quad \text{onde} \quad V_S = \text{Veloc. ondas superficiais}$$

Nos gases só é possível a propagação de ondas longitudinais; nos líquidos, as longitudinais e superficiais e, finalmente, nos sólidos tem-se os três tipos.

O aparelho ultra-sônico é dotado de transdutores especiais para cada tipo de onda. Normalmente usa-se dois tipos: os normais, empregando ondas longitudinais (fig. 1, a) e os angulares, ondas transversais (fig. 1, b).

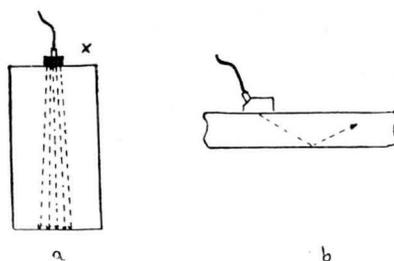


Fig. 1 — Ondas longitudinais e transversais.

A fig. 2 mostra a tela do tubo de raios catódicos (ecran; cinescópio) do aparelho ultra-sônico. Na linha vertical, com número 0, vê-se o pique devido ao impulso inicial da onda, que corresponde a posição X na fig. 1, a. Na linha 4 vê-se o pique correspondente as ondas que retornam do lado oposto ao lado de entrada. Esta fotografia é de uma peça perfeitamente homogênea.

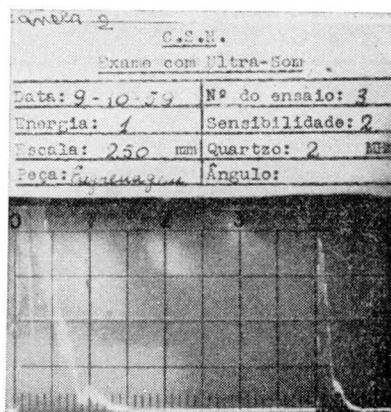


Fig. 2 — Tela do tubo de raios catódicos.

2 — DECOMPOSIÇÃO DAS ONDAS: A natureza de um meio exerce importante ação sobre a intensidade das ondas que nele se propagam. Uma peça crivada de pequenas discontinuidades

(porosidades, friabilidades, zonas de diferentes segregações ou de grãos grosseiros), é uma peça em que a penetração do fluxo sonoro é fortemente reduzida, pois estas imperfeições atuam sobre o feixe de ondas, provocando a sua divisão, refração, reflexão e difração.

a) *Refração*: Dois meios de impedância acústica diferentes provocam, em uma onda que se propaga em um deles e que atinge a superfície de separação de ambos com um ângulo que não seja o normal, uma transformação de onda incidente em uma de outro tipo e com um ângulo de propagação no segundo meio diferente da de incidência. Esta diferença angular é provocada pela refração.

Para exemplificar considere-se um caso visual de uma onda longitudinal percorrendo um corpo de plexiglas antes de atingir com certa inclinação a superfície do corpo metálico a ser examinado. Neste ponto tem-se dupla reflexão e refração (fig. 3).

Um feixe de ondas, ao passar de um material a outro no qual sua velocidade é menor que no primeiro, o raio se desvia para o normal. Se o feixe se move de um meio de menor velocidade a outro de maior, o feixe se afasta da normal. Este segundo caso é o que se dá no encontro plexiglas-aço, figura 3, pois:

V_{1L}	=	Veloc. ondas longitudinais no plexiglas	=	2700 m/s
V_{2L}	=	Veloc. ondas longitudinais no aço	=	5700 m/s
V_{2T}	=	Veloc. ondas transversais no aço	=	3200 m/s

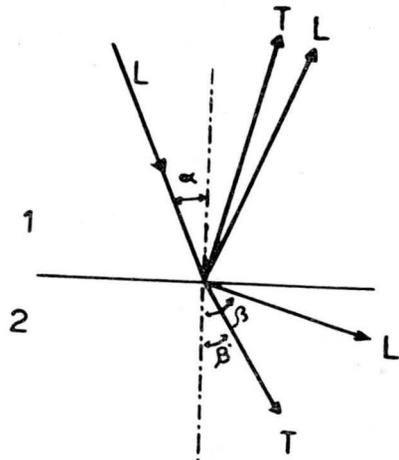


Fig. 3 — Refração e reflexão de ondas. L — ondas longitudinais; T — ondas transversais; 1 — plexiglas; 2 — aço.

Sabe-se que $\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \beta} = N$ e que $N = \frac{V_1}{V_2}$ $V_1 = \text{veloc. 1.}^\circ \text{ meio}$
 $V_2 = \text{veloc. 2.}^\circ \text{ meio}$

donde:

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{V_{1L}} = \frac{\text{Sen } \beta'}{V_{2T}} = \frac{\text{Sen } \beta}{V_{2L}} \quad \text{ou} \quad \frac{\text{Sen } \alpha}{2700} = \frac{\text{Sen } \beta'}{3200} = \frac{\text{Sen } \beta}{5700}$$

Considerando $\beta = 90^\circ$ tem-se $\text{Sen } \beta = 1$, logo:

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{2700} = \frac{1}{5700} \quad \therefore \alpha = 29^\circ.$$

Isto quer dizer, com ângulo de incidência maior que 29° , tem-se sempre somente ondas refratadas puramente transversais de ângulo de penetração variável segundo o ângulo de incidência. Baseado nos princípios acima descritos é que são feitos os transdutores de ondas transversais com ângulos de 35° , 45° , 60° , 70° e 80° de penetração.

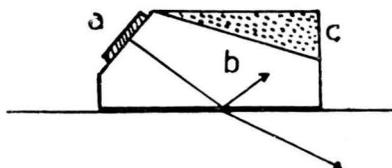


Fig. 4 — Transdutor de ondas transversais. a — quartzo emissor; b — plexiglas; c — material absorvente.

Na fig. 4 vê-se um feixe de ondas que parte do quartzo emissor *a*, percorre o meio *b* (plexiglas) e no limite plexiglas-metal uma parte das ondas se reflete e outra se refrata. As primeiras são absorvidas pelo material *C* com o fim de evitar interferências; as outras seguem no segundo meio e são ondas transversais aproveitadas neste tipo de transdutor para inspeção.

b) *Reflexão*: Um feixe de ondas ultra-sônicas ao passar de um meio *a* (de densidade d_1) a um meio *b* (de densidade d_2), tem sua energia em parte refletida e em parte prossegue neste segundo meio. A velocidade de propagação sendo V_1 e V_2 em cada meio tem-se então d_1V_1 e d_2V_2 as impedâncias acústicas respectivas.

Pode-se escrever que: $E_i = E_R + E_T$ ou $E_R = E_i - E_T$

em que:

E_i = energia incidente

E_r = energia refletida

E_t = energia refratada

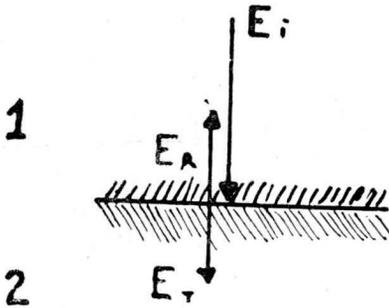


Fig. 5 — Reflexão de ondas. E_i — energia incidente; E_r — energia refletida; E_t — energia refratada.

Pode-se escrever que $\frac{E_r}{E_i} = \left(\frac{d_1V_1 - d_2V_2}{d_1V_1 + d_2V_2} \right)^2$. Fazendo-

se $m = \frac{d_1V_1}{d_2V_2}$ tem-se: $\frac{E_r}{E_i} = \left(\frac{m - 1}{m + 1} \right)^2$. Considerando o

meio como sendo aço-ar a energia é praticamente refletida, pois a impedância acústica do ar é aproximadamente 10^{-5} do aço, o que é desprezível, logo $E_r = E_i$.

Se se tivesse aço-água, a energia refletida seria 88% e o aço-mercúrio seria 16%.

Tabela dos diversos comprimentos de ondas

Frequência MHz	Comprimento de onda (mm)		
	Aço	Cu	Pb
0,5	11,6	9,2	4,2
1	5,8	4,6	2,1
2	2,9	2,3	1,0
4	1,4	1,1	0,5

c) *Difração*: Assim como em ótica, as ondas sonoras, apesar de se propagarem em linha reta, tendem a contornar os bordos de uma fissura que encontram em seu meio de propagação. Esta inflexão de onda chama-se difração. Porosidades muito finas ou lamelas de grafita podem passar despercebidas quando usamos baixa frequência (ondas maiores). Esse princípio permite um emprêgo de ondas ultra-sônicas no exame das peças de ferro fundido, onde as lamelas de grafita são um obstáculo sério à propagação das ondas.

3 — ABSORÇÃO: A maior ou menor facilidade de propagação de uma onda sonora é, em parte, função do meio no qual se desloca, pois à medida que o feixe de onda se aprofunda em um corpo há uma queda de intensidade devido à absorção, isto é, a transformação de uma energia em outra forma de energia (calor), conseqüência, portanto, de um fenômeno mecânico. Pode-se escrever a lei de absorção exponencial:

$$A_r = A_o (-K_x)$$

onde:

A_o = amplitude da fonte emissora

A_x = amplitude à distância X da fonte

K = coeficiente de absorção, soma dos atritos internos, dispersões, perdas de energia em geral.

É dado sob a fórmula:

$$K = \frac{\delta \pi f^2 r}{3 \rho v^3}$$

onde:

V = Velocidade de propagação

ρ = Massa específica

f = Frequência de ondas U. S.

r = Coeficiente de viscosidade do meio

Uma peça fundida possui zonas cristalográficas diferentes, provenientes de segregações ou do tamanho do grão (velocidade do esfriamento). De mais a mais, a diversidade de textura (austenita, perlita, ferrita, etc.) amortiza em maior ou

menor escala as vibrações. A junção de uma peça de zonas com diferença de cristalização pode dar uma reflexão fantasma onde não existe nenhuma solução de continuidade.

$$\text{Potência transportada: } P \text{ watts} = \frac{1}{2} \rho V W^2 A^2$$

ρ = Massa específica do material

V = Velocidade de propagação das ondas no material

A = Amplitude das ondas U. S.

W = Pulsação = $2 \pi f$ onde f = freqüência

No ferro fundido outros fatores devem ser também considerados. As lamelas de grafite, quando grosseiras, amortizam rapidamente vibrações, mas quando finas e dispersas, tornam a propagação quase impossível. O mesmo sucede num aço portador de friabilidade.

Além da natureza do meio de propagação, sabe-se sobretudo, que o enfraquecimento do feixe U. S. é proporcional a freqüência. Com freqüência elevada obtém-se maior orientabilidade ao feixe de ondas e mais apurada sensibilidade, mas tem-se o inconveniente do enfraquecimento das ondas, pois se maior a freqüência menor o comprimento de onda e portanto, menor a possibilidade de contornar as adversidades do meio (grãos grosseiros, grafite, etc.), tornando impossível uma penetração profunda.

O interesse por baixas freqüências (0,5 MHz) é importante para peças grandes, ferro fundido, peças de grãos grosseiros, etc.

4 — FREQUÊNCIA: A escolha da freqüência está condicionada a vários fatores, tais como:

- a) Dimensões da peça.
- b) Superfície de contacto.
- c) Granulometria da peça.
- d) Presença de porosidade (peças fundidas).
- e) Presença na liga de componentes de estrutura bem diferente da matriz. Exemplo: Grafite no ferro fundido, chumbo no bronze, etc.
- f) Com maior freqüência os menores defeitos e heterogeneidades podem ser descobertos, porém, com o aumento da freqüência aumentam as dificuldades de interpretação do resultado, devido às pequenas heterogeneidades, que aliás, não sendo defeitos sérios, sempre dão sinais.

A prática mostra que a maioria dos problemas que aparece com a operação pode ser resolvida com frequências de 0,5 até 4,5 MHz.

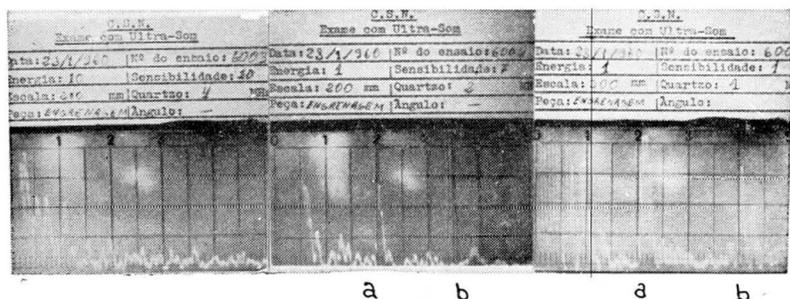


Fig. 6 — Exame de um defeito usando transdutores com frequências diferentes.

Na fig. 6, vê-se o mesmo defeito examinado por transdutores com frequência de 4, 2 e 1 MHz. Nota-se que para o 4 MHz foi necessário usar a energia e a sensibilidade do ponto máximo e no entanto nada se observou, a não ser piques devidos à pequenas bôlhas ou porosidades. Já com o transdutor de 2 MHz o defeito aparece em *a* e o éco do fundo em *b*. A energia e a sensibilidade puderam ser reduzidas a 1 (mínimo) e a 7, respectivamente. Com o transdutor de 1 MHz vê-se que apesar de se ter reduzido a sensibilidade ao mínimo, o pique correspondente ao defeito *a* e o pique de fundo *b* aparecem bem fortes. Esta peça examinada é uma peça de grãos grosseiros, portadora de porosidades e uma pequena bôlsa interna.

III — PROCESSOS

Tem-se três métodos ultra-sônicos para contrôlo de peças: o de reflexão ou impulso, o de transparência ou sombra e o de ressonância. O primeiro método é o mais importante e o mais empregado, daí o interesse em descrevê-lo com mais detalhes.

1 — SISTEMA DE REFLEXÃO OU IMPULSO: O princípio por reflexão reside na emissão de ondas sonoras de alta frequência através de um corpo sólido. Estas ondas partindo de uma fonte emissora percorre o corpo testado e, refletindo na parede oposta torna ao ponto de origem como um éco. Qualquer des-

continuidade no interior do corpo provocará o retôrno total ou parcial das ondas antes de atingirem o lado oposto (fig. 7).

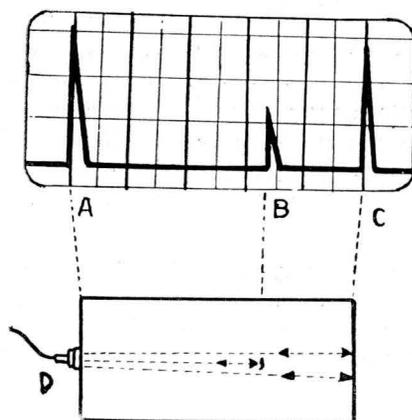


Fig. 7 — Ecran e peça testada (ondas pulsadas). A — impulso da onda inicial; B — pique do defeito; C — pique de fundo; D — Transdutor.

Este método de impulsão é intermitente, isto é, o gerador do aparelho produz corrente durante um tempo T , interrompe-a durante um tempo t , torna a produzi-la durante um tempo T e assim alternadamente o quartzo piezoelétrico vibra e estabiliza segundo mostra a fig. 8.

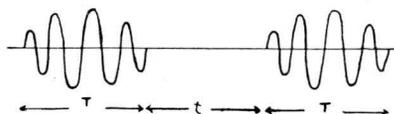


Fig. 8 — Emissão descontínua de ondas.

Como a velocidade de propagação das ondas é extremamente rápida, ela percorre a peça, reflete na superfície oposta, sendo então recolhida pelo mesmo quartzo emissor em seu período estável, gerando assim, corrente elétrica alternada que se dirige ao amplificador e a seguir é projetada por meio de um tubo catódico a um ecran vindo a formar o pique de retôrno. Resumindo, pode-se dizer que no intervalo de tempo $T + t$ a

lâmina de quartzo vibra, ora sob influência da corrente elétrica alternada produzindo vibrações sonoras, ora sob influência das ondas de retôrno produzindo corrente elétrica, agindo, portanto, simultâneamente como emissora e receptora de ondas.

Cada impulso sonoro emitido percorre a peça em tempo bem determinado para cada espécie de material, sendo êste tempo naturalmente proporcional ao caminho. Um dispositivo determinando o tempo pode ser escalonado diretamente em centímetros para um determinado material e desta maneira torna-se possível ler imediatamente em centímetros a distância do defeito ou da parede oposta.

O registro das impulsões e dos écos, assim como a medida da duração do percurso, se faz por meio de um tubo catódico, sôbre um ecran no qual aparece uma linha luminosa deformada, em seguida por agulha das impulsões de emissão e os écos (fig. 7).

2 — SISTEMA DE SOMBRA OU TRANSPARÊNCIA: Neste sistema o emissor e receptor são separados. Um feixe de ondas contínuas é emitido de um lado e recolhido no oposto, sem haver, portanto, reflexão. As variações da intensidade constatadas durante a transmissão determinam as heterogeneidades. É baseado, portanto, na fixação da sombra sônica atrás do defeito. Não é muito usado devido a complicações do aparelho e da peça testada ter de ser acessível em ambos os lados (fig. 9).

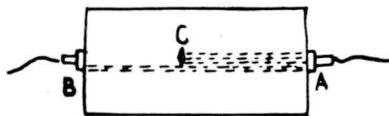


Fig. 9 — Método de transparência (ondas contínuas). A — emissor; B — receptor; C — defeito.

3 — SISTEMA POR RESSONÂNCIA: Êste sistema usa o fenômeno da “ressonância da espessura”, isto é, se a espessura de um corpo com duas faces opostas e paralelas medir precisamente a metade de um comprimento de onda ultra-sonora, o corpo entra em ressonância e reage sôbre o quartzo emissor. Se a espessura “d” medir um múltiplo da metade do comprimento de onda, então as vibrações harmônicas se encontram engendradas. Mudando de uma maneira contínua o valor do comprimento de onda U. S., obtem-se os piques de ressonância e deduz-se a espessura da peça.

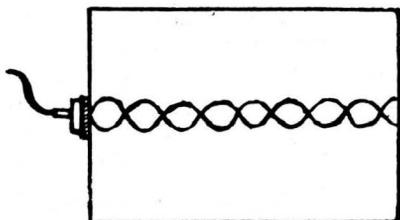


Fig. 10 — Método por ressonância;
ondas contínuas.

IV — DEFEITOS CARACTERÍSTICOS

Levando em consideração os resultados obtidos na inspeção de material forjado, laminado ou fundido pode-se concluir que a aplicação das ondas ultra-sônicas na determinação dos defeitos que causam descontinuidade no aço é muito beneficente. Relativamente não é difícil a aplicação do ultra-som em peças planas com superfície mais ou menos lisa, como por exemplo, produtos laminados; porém as dificuldades surgem em peças forjadas e especialmente em peças fundidas onde as superfícies são irregulares. É devido a isso que se conhece vários trabalhos sobre a aplicação do ultra-som na laminação e relativamente poucos sobre sua aplicação em peças fundidas e, principalmente, em estado bruto de fusão, isto é, com ausência de qualquer acabamento ou usinagem. Porém, muitas fundições, inclusive algumas dentro do Brasil, já aplicam o exame por meio de ondas ultra-sônicas com o fim de determinar as anomalias no aço fundido, que normalmente tem muito mais defeitos e descontinuidades do que as peças forjadas ou laminadas.

Um fator importante a ser considerado no exame de um corpo é a superfície de contacto transdutor-peça. A superfície do material a ensaiar deve ser mais perfeita possível. Se não o for, as irregularidades não permitirão um contacto íntimo do transdutor com a peça e muitas ondas se perderão nesta passagem diminuindo assim a intensidade do feixe e dando uma idéia errada do meio de propagação das ondas. Isto pode produzir-se quando a superfície é áspera, rugosa ou contiver areia encrustada, camadas de óxidos ou pintura. Uma simples passagem de esmeril é quase sempre suficiente na remoção destes impecilhos, mas neste caso deve-se ter cuidado para que a superfície não fique com rebarbas ou marcas abauladas, pois senão o contacto transdutor-peça tornaria não ser perfeito.

Nos desenhos e fotografias que se seguem procuram-se mostrar os defeitos comuns encontrados em peças fundidas e o comportamento das ondas do tipo longitudinal ao detectá-las. Assim sendo, pode-se dizer que um defeito no interior de uma peça apresenta-se sob diversas formas e é justamente sôbre esta diversidade de contornos que as ondas sonoras incidem e se refletem de maneira complexa. Se o obstáculo possui paredes relativamente lisas (gases) e tanto quanto possível perpendiculares ao feixe, então tem-se um éco limpo que permite avaliar a extensão do defeito.

Na figura 11 estão esquematizadas a propagação e reflexão das ondas em uma peça portadora de um defeito e seu aparecimento no ecran do aparelho. Se o defeito fôsse maior e chegasse a barrar completamente o jato de ondas, a reflexão neste ponto seria total e não apareceria o éco de fundo *b*.

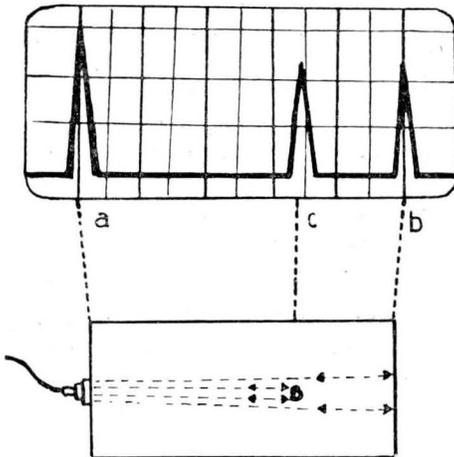


Fig. 11 — Ecran e peça.

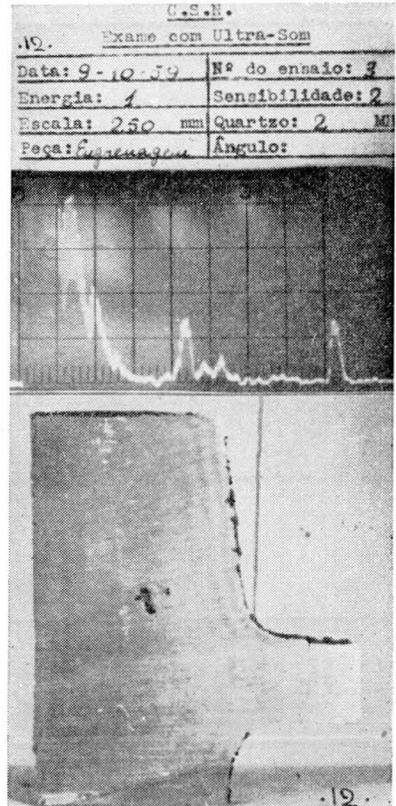


Fig. 12 — Fotografia do ecran e de uma peça nas condições da figura 11.

Se o defeito apresentado fôr irregular, cheio de pontos e de um modo geral inclinado em relação ao sentido de propagação do feixe sonoro, uma grande parte destas ondas incidentes perde-se por se refletirem em outra direção. As ondas que retornam do defeito são, então, bem mais fracas, não dando uma idéia

precisa de extensão do mesmo. Na figura 13 vê-se o comportamento de um feixe de ondas encontrando este tipo de defeito, bem como o seu aparecimento no ecran.

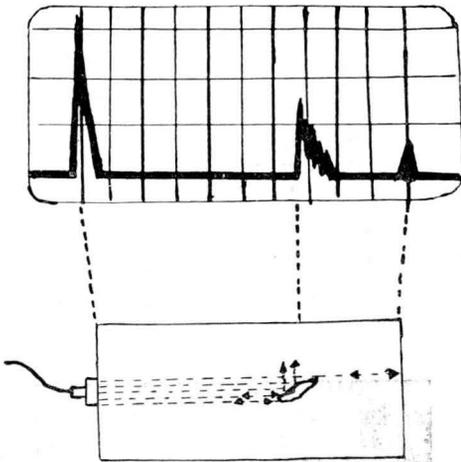


Fig. 13 — Peça e ecran.

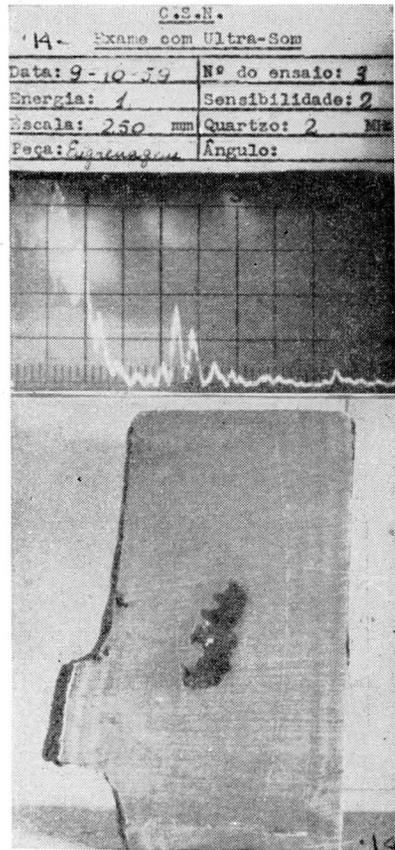


Fig. 14 — Fotografia do ecran e de uma peça nas condições da figura 13.

Nas fotografias (fig. 14) vê-se uma peça nas condições da figura 13. Nota-se que apesar do defeito ser bem maior que na foto anterior (fig. 12), os piques correspondentes são quase da mesma altura, entretanto, o pique do eco do fundo quase desapareceu, devido ao jato de ondas ser quase inteiramente cortado pelo defeito.

Finalmente, se o obstáculo fôr uma porosidade ou cavidade envolta em poros (chupagem), estas absorverão completamente o feixe de ondas, não permitindo nenhum retôrno nítido, fazendo-se ignorar o volume do obstaculo.

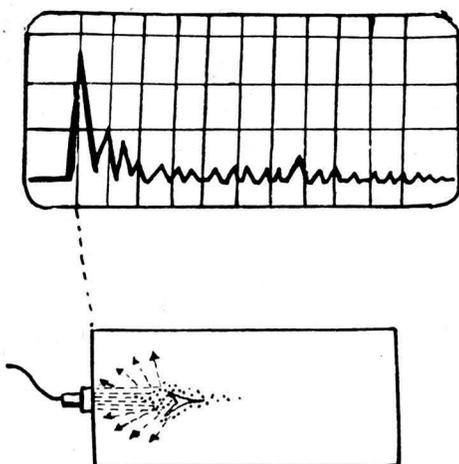


Fig. 15 — Peça e ecran.

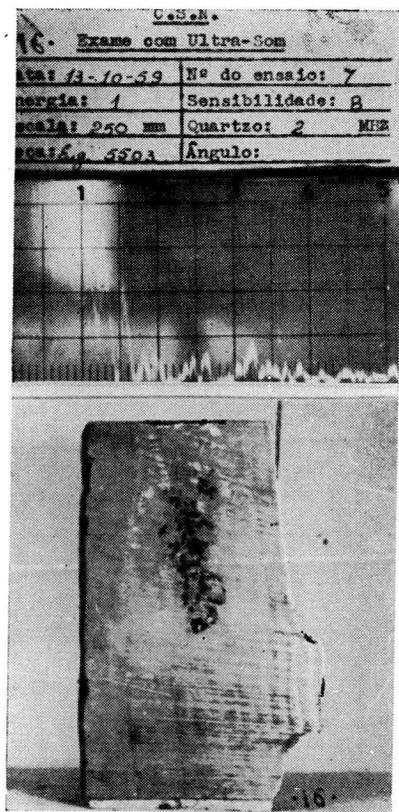


Fig. 16 — Peça e ecran.

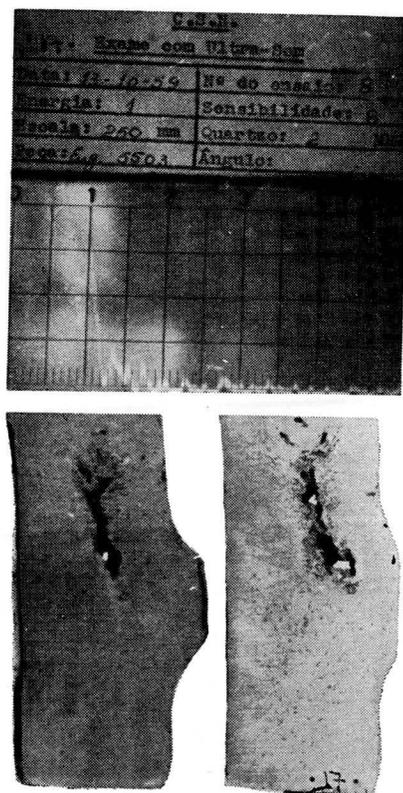


Fig. 17 — Peça e ecran.

Nas fotografias 16 e 17, vê-se que praticamente para os dois casos o comportamento das ondas foi o mesmo, não havendo portanto, uma reflexão nítida.

Para ter-se uma idéia do meio em que percorre um feixe de ondas deve-se ter acesso em mais de uma face do corpo a ser examinado e tanto quanto possível usar várias frequências pois, se o obstáculo fôr pequeno e o comprimento de onda grande, estas poderão contorná-lo e então não haverá sinal do mesmo. Tanto quanto possível deve-se sempre procurar repetir o exame com outro tipo de onda. Nos casos já citados êste segundo exame seria feito com ondas transversais. De qualquer forma, qualquer que seja o aspecto do defeito, o pique correspondente ao éco de fundo é sempre reduzido ou desaparece. Isto dá uma indicação segura de que o meio que as ondas percorrem não é perfeito.

V — ALGUNS EXEMPLOS PRÁTICOS

Durante os três últimos anos, na Companhia Siderúrgica Nacional, tôdas as peças de responsabilidade foram submetidas ao teste de ondas ultra-sônicas antes de serem usinadas e tratadas. Para maior clãreza passa-se a enumerar alguns exemplos de rotina.

1 — ENGRENAGENS: São peças de alta responsabilidade, sujeitas ao desgaste e à fadiga. São fabricadas em grande quantidade pela fundição da CSN e sua forma e pêsso são muito variáveis, indo desde alguns quilos até mais de uma tonelada. Geralmente o aço usado é SAE-1040 e SAE-1050. Devido à sua forma complicada estas peças estão sujeitas a muitos defeitos de fundição, tais como: chupagem, bôlsas e porosidades.

As engrenagens, especialmente as complicadas, são difíceis de serem ensaiadas e deve-se ter bastante experiência para o exame das mesmas. Em caso de dúvida é preferível sucatar a peça para não se perder a usinagem. Na figura 18 são mostradas as posições do transdutor empregado no exame da engrenagem e na figura 19 são apresentados os croquis de outros tipos de engrenagens mais usados.

Na figura 18 vê-se o transdutor de ondas longitudinais na posição 1. Nesta posição procura-se determinar defeitos na zona onde vão ser frezados os dentes da engrenagem. Nesta zona não pode ser tolerada a menor descontinuidade e o teste deve ser feito cuidadosamente com um deslocamento lento do transdutor, devendo a sensibilidade ser elevada.

Nas figuras 12, 14, 16 e 17 são apresentados alguns defeitos mais comuns encontrados no local onde seriam frezados os dentes. Na posição 2 visa-se determinar as heterogeneidades no centro da engrenagem. Muitas vêzes os defeitos encontrados nesta zona podem ser enchidos com solda. A chupagem é o defeito mais comum nesta região. Na figura 17 tem-se alguns exemplos dos mesmos.

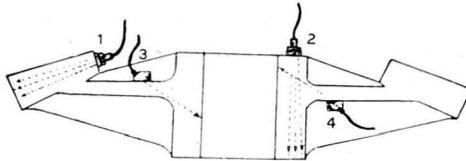


Fig. 18 — Exemplo de aplicação de transdutores de ondas longitudinais e transversais.

Nas posições 3 e 4 procuram-se detectar, no encontro dos raios com o centro da engrenagem, os defeitos mais comuns neste tipo de peça, ou seja, a trinca em conseqüência das tensões internas desenvolvidas durante a contração da peça. Neste caso usa-se ondas transversais como pode-se ver na figura 18.

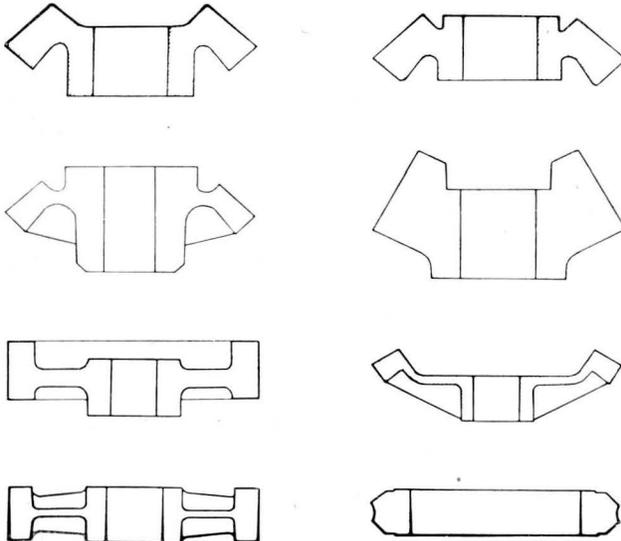


Fig. 19 — Outros tipos de engrenagens examinados.



Fig. 20 — Exame de diversos tipos de engrenagens, antes da usinagem e tratamento térmico.

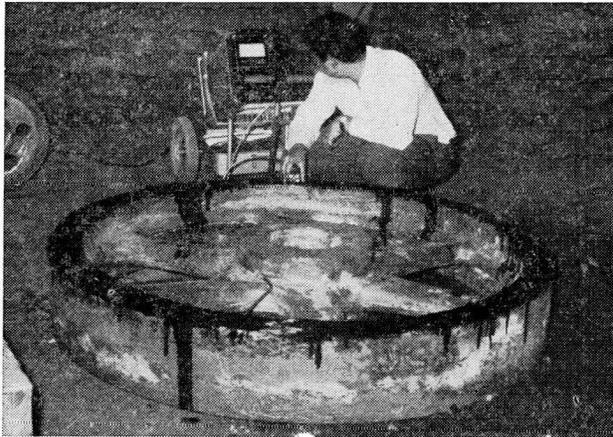


Fig. 21 — Exame de uma grande engrenagem.

2 — SPINDLES: São peças destinadas a transmitir a rotação ao cilindro de laminação; são peças de grande porte, cujo peso varia de 2,4 até 10 toneladas. Devido à sua função, estas peças estão sujeitas a grandes esforços de torção e, quando não perfeitamente homogêneas, logo surgem trincas e conseqüentemente ruptura. Atualmente na CSN são fabricados spindles de 2.400 quilos os quais, antes de entrarem em operação, sofrem

um cuidadoso exame ultra-sônico com ondas longitudinais e transversais.

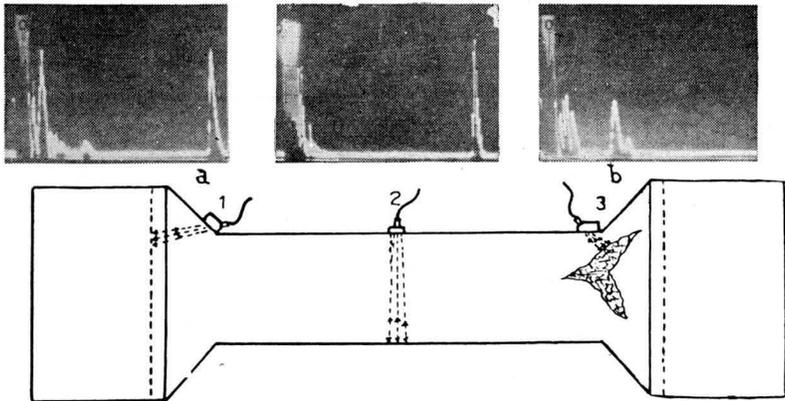


Fig. 22 — Spindle.

Na figura 22 vê-se que nas posições próximas às extremidades, 1 e 3, empregam-se transdutores de ondas transversais, devido à presença de uma face inclinada só permitir a este tipo de ondas cobrir a área central (zona mais sujeita a fratura). Para dar-se um cunho mais prático apresenta-se uma peça portadora de um defeito interno numa das extremidades e boa na outra, juntamente com as respectivas fotos do ecran.

Na foto 22-1 (correspondente à posição 1 do transdutor) vê-se que o interior da peça é perfeito, pois o pique da face oposta aparece claro em *a*. Na foto 22-3 nota-se o aparecimento do pique da bolsa em *b* e o desaparecimento do eco de fundo. A foto 22-2 corresponde ao exame com transdutor de ondas longitudinais no centro da peça, onde se observa o aparecimento claro do eco de fundo. Com o deslocamento dos transdutores e a variação do ângulo de penetração das ondas, todo o interior da peça fica perfeitamente conhecido.

3 — CILINDRO DE LAMINAÇÃO: São peças destinadas a laminar o aço em temperaturas elevadas. Conforme a finalidade, podem ser de ferro fundido ou aço; o tamanho e perfil variam segundo as diferentes fases da laminação. Alguns cilindros pesam em torno de 5 t; outros vão até 25 t. Sua fundição é cuidadosa e a usinagem demorada e perfeita. Como são peças sujeitas a choques, pressões e fadiga, qualquer bolsa em seu interior e principalmente quando situada no pescoço, provoca a ruptura do cilindro em operação com graves prejuízos.

A figura 23 mostra o exame de um cilindro de aço bem como as diferentes fotos correspondentes às diversas posições do transdutor em relação a uma bolsa interna. Na foto 23-1, o topo do cilindro, o eco de fundo é completamente ausente, sòmente aparecendo o da bolsa em *a*. Já na foto 23-2 tem-se um leve indício do eco de fundo em *b*. Nas fotos 23-3/4, o eco da bolsa se mantém com a mesma intensidade, sòmente variando a forma, enquanto que o de fundo vai aumentando. Finalmente na última foto, a peça está perfeita, pois o pique correspondente ao eco de fundo é claro. Disso pode-se deduzir que a bolsa diminui da posição 1 a 4, estando completamente ausente na posição 5.

A intensidade das ondas que retornam da bolsa praticamente se manteve constante, conforme pode-se ver nas fotos 23-1/4. Isto justifica-se pela melhoria das paredes da cavidade de apesar da diminuição da mesma, permitindo assim uma incidência melhor das ondas e conseqüentemente seu retôrno com

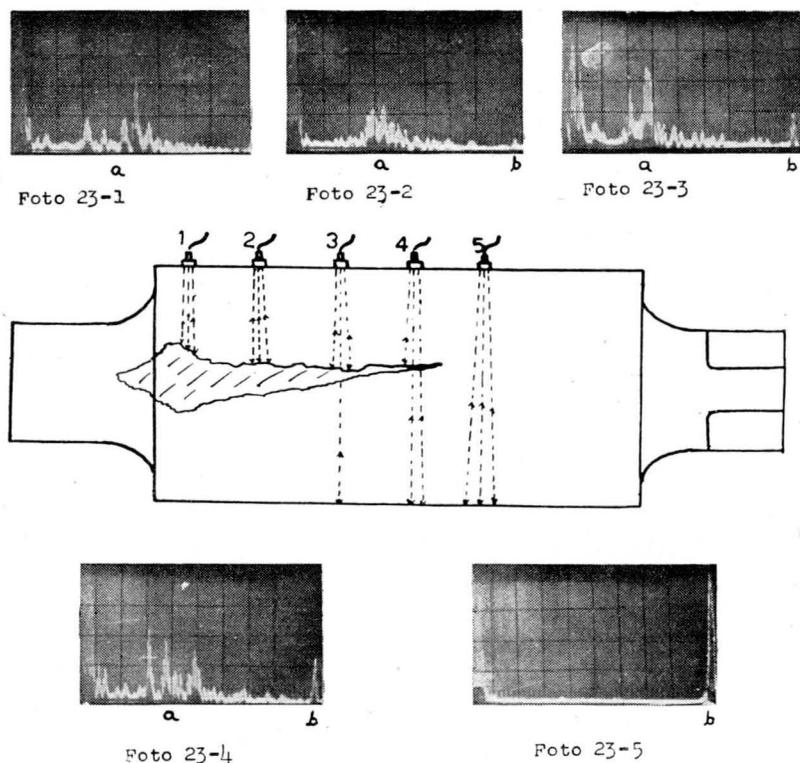


Fig. 23 — Cilindro de laminação.

menos perdas por reflexão em outra direção. Na figura 24 vê-se como é feita a aplicação do ultra-som em um cilindro de aço, o qual sofreu um leve esmerilhamento superficial, a fim de eliminar a areia incrustada e permitir um contacto transdutor-aço melhor.



Fig. 24 — Aplicação de ultra-som a um grande cilindro.

VI — CONCLUSÃO

Na aplicação do ultra-som, a peça a ser examinada tanto pode ser fundida, laminada ou forjada, ferrosa ou não, ou mesmo não-metálica. As dimensões poucas preocupações trazem, pois a distância pesquisada pelas ondas ultra-sônicas podem atingir até 10 metros, de acordo com a frequência usada e o meio de propagação.

Sente-se desta forma a importância do ensaio não-destrutivo com aparelho ultra-sônico na seleção de peças, sucutando as defeituosas, mas aparentemente perfeitas, prevenindo-se contra acidentes ou gastos inúteis com usinagem e tratamentos térmicos.

Este exame é extremamente fecundo, mas exige da parte do operador uma grande experiência, que não se adquire senão após examinar numerosas peças e delas destruir um certo número para se poder exercer um juízo com toda segurança. Isto porque cada defeito apresenta na tela do tubo de raios catódicos uma figura peculiar; a interpretação de tais figuras é uma questão pura e simples de prática, não havendo método rigoroso para tal interpretação.

AGRADECIMENTO

O autor externa seus agradecimentos à Direção da Companhia Siderúrgica Nacional, pelas facilidades concedidas na divulgação deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

1. KROUTKRAMER — *Controle de materiaux par U. Sons* — 1956.
2. CARLIN — *Les Ultra Sons* — 1953.
3. *Manual "Metallowedenie"*. Metalurgizdet — 1956.
4. J. L. PIGUET — *Methodes non destructives par l'etude et le controle des materiaux* — 1957.

DISCUSSÃO ⁽¹⁾

Sylvio Friedrich ⁽²⁾ — Agradeço ao Colega Mario Zanella a exposição de seu trabalho, que versa sobre um método de controle moderno e vem tendo difusão entre nós. O ultrassom é um ensaio não destrutivo dos mais interessantes para o controle das condições internas de peças metálicas e mesmo de outros produtos; serve até para controlar a camada de gordura em porcos. A aplicação do ultrassom é muito variada, não só na Metalurgia como também em ramos completamente diferentes. Na Europa e nos Estados Unidos, o ultrassom já está sendo usado intensamente, porque os seus campos de aplicação são realmente muito variados.

Reputo de muito interesse o trabalho do Eng. Zanella porque temos ainda poucas publicações em vernáculo sobre o assunto. A literatura estrangeira apresenta trabalhos numerosos sobre a matéria, porém, o mesmo ainda não ocorre entre nós.

Felicitemos também o Eng. Zanella por seu trabalho de aplicação de ultrassom em peças fundidas, que é um campo bem árduo, porque as peças fundidas podem apresentar defeitos muito variados. Assim, é fundamental formar-se um lastro de conhecimento antes de se poder fazer um julgamento seguro sobre a qualidade de uma peça à vista do resultado do exame. Por isso, um trabalho dessa natureza exige que muitas peças sejam cortadas no período em que o operador ainda não tem experiência para fazer correlação entre as indicações que o aparelho fornece e o que realmente existe internamente na peça. Aprenderá então que existem indicações que não constituem defeitos, e que ele não pode sucatar peças assim sumariamente.

Gunter Joseph Bauman ⁽³⁾ — Encontrei um problema, para mim até agora sem solução, sobre o qual queria consultar o Eng. Zanella, que, provavelmente, há muito mais tempo do que eu estuda a aplicação do ultrassom no exame das peças. Refiro-me aos efeitos da fadiga de material. Entendo que o Eng. Zanella, na Usina em que trabalha, deve ter encontrado peças que não apresentariam imediatamente falhas, mas nas quais, depois de certo tempo de funcionamento, aparentemente há uma modificação estrutural, quando submetidas a esforços alternados ou repetidos.

Mário M. Zanella ⁽⁴⁾ — Para nós, são peças do tipo «eixo» as mais conhecidas quanto às falhas por fadiga. Sabe-se que o feixe U.S. é cônico

(1) Contribuição Técnica n.º 398. Discutida na Comissão «I» do XV Congresso da ABM; São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM e Presidente da Comissão; Engenheiro Sub-Chefe do Departamento de Pesquisas da Usina de Volta Redonda da CSN; Volta Redonda, RJ.

(3) Membro da ABM; do «Instituto de Investigaciones y Ensaños» da República do Chile.

(4) Membro da ABM; Engenheiro Chefe da Divisão de Pesquisas da Usina de Volta Redonda da CSN; Volta Redonda, RJ.

e possui um determinado ângulo de abertura. Como êstes tipos de peças são alongados, grande parte das ondas batem nas superfícies laterais com um ângulo de incidência razante e refletem com dois tipos de ondas de ângulos de reflexão diferentes: Longitudinais e transversais, conforme podem ver neste desenho. Isto quer dizer que grande parte das ondas emitidas pelo cabeçote emissor não se refletem na superfície oposta, diretamente; antes elas percorrem em zigue-zague o interior da peça.

Se a peça fôr perfeita, tem-se um éco de fundo proveniente das ondas diretas seguido de inúmeros ecos de fundo de ondas que varrem transversalmente a peça e que chegam com atraso devido ao seu maior percurso (desenho no quadro). As trincas por fadiga, quando pequenas e distribuídas em tôda a extensão da peça (desenho) são praticamente impossíveis de serem detectadas, mas provocam a absorção destas ondas que zigue-zagueiam pelo interior da peça, isto quer dizer, tem-se o éco de fundo das ondas diretas um pouco amortecido e a ausência total dos ecos de fundo das ondas que zigue-zagueiam. Se a peça apresenta sômente uma trinca que se desenvolve por fadiga (desenho), então não há problema. O aparelho U.S. a localiza perfeitamente e mesmo pode acompanhar seu desenvolvimento.

S. Friedrich — Gostaria de dar um esclarecimento. Êsse contrôle é muito usado em peças de responsabilidade. Por exemplo nas usinas siderúrgicas, nas mesas dos laminadores desbastadores, existem os rolos que transportam os lingotes. O rôlo de saída recebe continuamente o choque provocado pelo lingote ao sair da cadeira, sendo sujeito a fraturas por fadiga. É perfeitamente possível, por meio de exames periódicos com ultrassom, acompanhar-se o início e o desenvolvimento das trincas que se formam, fazendo-se a substituição do rôlo logo que os defeitos atinjam uma extensão que, pela prática, se sabe ser já perigosa.

A mesma coisa ocorre com os eixos de vagões de locomotivas; para êles há necessidade de um exame freqüente. A rêde Ferroviária Alemã, por exemplo, examina constantemente todos os eixos de suas locomotivas. O contrôle já é tão perfeito que conhecem o tempo que pode uma peça, com determinado defeito, ainda suportar trabalho. De maneira que peças com fratura de fadiga já iniciada, são usadas ainda por seis meses ou um ano; na ocasião oportuna, não retiradas e substituídas.

Attilio Gucci ⁽⁵⁾ — Sôbre a profundidade de uma capa metálica sôbre um metal diferente, nem que haja descontinuidade. É um caso que me despertou curiosidade. O método daria noção de profundidade ou não?

Mário M. Zanella — Não tenho experiência nesse sentido. Vamos supor um corpo metálico dentro de uma matriz metálica diferente (desenho). Sabe-se que as ondas ao passarem de um meio para o outro de densidade diferente, são em parte refletidas e em parte prosseguem neste 2.º meio. Pode-se ter então um pique correspondente a esta passagem, mas isto dependerá naturalmente desta diferença de densidade. Neste caso talvez possa perfeitamente ser aplicável o U.S., mas nunca foi feito por nós.

G. J. Baumann — Com referência ao aspecto que tem a reflexão secundária com relação ao cinescópico, é possível encontrar algo característico assim como um espectro ultrassônico para determinado tipo de falhas? Pode parecer uma pergunta — se os senhores quiserem — não muito

(5) Engenheiro da «Sociedad Argentina de Metales»; Buenos Aires.

inteligente, mas coube-me revisar, ultimamente, uma informação de origem europeia sobre um eixo de turbina hidráulica para uma central elétrica, em que se pretende poder-se usar um espectro comparativo ultrasônico. Isso me parece muito, com relação ao que se pode dizer a respeito de ultrassom. Tratava-se de discernir entre porosidade de uma origem qualquer e um efeito de conteúdo de hidrogênio.

M. M. Zanella — No exame de uma turbina ou de um eixo qualquer, temos, antes de mais nada, que fazer um diagrama correspondente a essas peças. Vamos supôr que tenhamos essa variedade (desenho). O cinescópio vai dar-nos os piques. Numa aplicação longitudinal, com o feixe abre relativamente, vamos ter reflexões, quer dizer, pique de onda inicial, pique correspondente à redução de área e pique de fundo.

Primeiramente, temos que ter em mente toda a figura gravada. O eixo bom terá êste aspecto (desenho). Qualquer inclusão ou segregação amortecerá, em maior ou menor escala, as reflexões correspondentes a essas diversas reduções de áreas. Para essas inclusões, neste tipo de peças, usamos onda de baixa freqüência. Grandes comprimentos de ondas não são suficientes para dar reflexões; poderão, no máximo, dar pequenos piques, mas uma coisa é certa: teremos redução dos piques correspondentes a essas diversas posições, devido à absorção pelo meio. Isso nos indica se é uma peça de grande porosidade, de granulação muito grosseira, ou de segregação.

Se houver algum defeito, teremos uma reflexão correspondente a êsse defeito, conforme sua posição. Em caso de maior dúvida numa extremidades — estou indicando a parte mais difícil — podemos usar ondas transversais em várias posições, ao longo do eixo. Se houver um defeito entre êste e aquele pique, podemos usar ondas transversais aqui, para maior clareza (desenho). Temos tido muitas dificuldades dêsse gênero com eixos de vagões. Fizemos exame em mais de mil eixos de vagões, o que nos deu oportunidade de estudar essa parte e, pelo menos, chegar a essa conclusão.

S. Friedrich — Era isso o que o Eng. Baumann desejava saber? Toda a peça de estrutura homogênea e de forma pouco complicada permite a verificação de sua condição interna pelo ultrassom. É essencial que a estrutura seja bastante homogênea.

G. J. Baumann — Minha pergunta é sobre se o Eng. Zanella poderia dizer-me exatamente qual seria êsse defeito, porque não se pode dizer se se tratava, com certeza, de granulações grosseiras, de segregações ou de porosidade.

S. Friedrich — Há casos em que o defeito fica indeterminado; somente quando cortamos a peça é que verificamos qual êle seja. Mas, pela experiência adquirida, êsses casos de indeterminação vão sendo reduzidos. A experiência própria e acumulada, acaba mostrando que uma determinada indicação corresponde a um certo defeito, o qual pode assim ser melhor identificado.

G. J. Baumann — Ainda uma pergunta: existe já alguma publicação análoga à que temos com relação aos exames feitos por raio X, dando o resultado da experiência acumulada com respeito a defeitos metalúrgicos detectados por ultrassom?

S. Friedrich — Que eu conheça, não. Existem vários trabalhos, cada um abrangendo determinado grupo de peças ou materiais. Mas um trabalho completo, não tenho conhecimento de que exista.

Hans Maeder ⁽⁶⁾ — O senhor disse que examinou mil eixos de vagões. Pode dizer-me qual o tamanho dos eixos e como foram determinados os defeitos?

M. M. Zanella — Longitudinalmente. Eram eixos de vagões e locomotivas de bitola larga.

Em certos casos não foi possível usar o aparelho pela extremidade, porque são eixos montados e não dão acesso, não dá para colocar a mão. Apenas na graxeira a rosca é removível, não permitindo a entrada da mão nem do cabeçote. Nesses casos, usam-se ondas transversais ao longo do eixo.

Como resultado podemos dizer que trincas de 1 a 2 mm de profundidade na periferia, conforme a posição, são perfeitamente detectadas. É verdade que são trincas que não têm tanta influência.

H. Maeder — E que indicação ultrassônica os senhores consideraram como defeito?

M. M. Zanella — Qualquer pique, correspondendo a qualquer descontinuidade, consideramos defeito. A gravidade do defeito é variável.

H. Maeder — O senhor realizou uma série de investigações para estabelecer que com exame através de aparelho ultrassônico com 4 linhas há indicação, (desenho) já na metade da linha, de descontinuidade. Pergunto: em que metade? Da primeira linha?

M. M. Zanella — É uma descontinuidade. A gravidade aparente varia conforme a frequência e a sensibilidade do aparelho.

H. Maeder — Pergunto, porque na introdução do seu trabalho o senhor diz que é possível verificar-se a existência de segregações. O senhor pode dar-me uma explicação de como é possível revelar-se a existência de segregações?

M. M. Zanella — Sob que aspecto? Normalmente, segregações há pequenas, mais ou menos neste sentido que os Srs. estão vendo aqui no quadro (desenho).

H. Maeder — O senhor acha com certeza que são segregações? Ou pode dizer, por exemplo, que numa barra de aço temos neste ponto preto existente no centro uma pequena segregação, se bem que o aço seja acalmado? Esta é uma segregação? O senhor vai receber uma indicação. Este é um defeito do aço ou não?

M. M. Zanella — A dificuldade do aparelho está na interpretação de suas indicações em termos de defeitos. No centro de uma barra, um defeito insignificante, ou uma porosidade, ou uma segregação intensa, podem apresentar-se da mesma forma. É difícil a distinção.

H. Maeder — Até agora, tinha a opinião de que as segregações não podiam ser reveladas diretamente, mas apenas indiretamente, porque no caso de termos internamente uma segregação, temos sempre pequenas inclusões não metálicas, e acho que estas dão, no aparelho, indicações muito pequenas.

(6) Membro da ABM; Engenheiro da Cia. Siderúrgica Mannesmann; Belo Horizonte, MG.

M. M. Zanella — São segregações do centro da peça. Quer dizer, classifico inclusões segregadas como segregações.

H. Maeder — Voltando aos eixos, o senhor disse que numa bitola de 150 a 180 mm realizou uma série de investigações para estabelecer, com aparelho de 4 MHz, uma curva que diga que com uma indicação de, se não me engano, 6,1-2-3-4, temos um defeito de determinada extensão (desenho). Gostaria de saber se seria possível estabelecer-se uma curva tal que indicasse um defeito de 1 mm, naturalmente sob a condição de termos uma bitola de 150 mm de diâmetro e de a indicação corresponder a um defeito de 1 mm nesta direção; se o cabeçote que está lá estabeleceu tais curvas (desenho).

M. M. Zanella — Não foi estabelecido, mas varia de um eixo para outro. Não existe eixo com a mesma granulometria que tenha a mesma segregação e condição de pique correspondente. A um eixo «X» pode corresponder uma falha de 1 mm, mas ao mesmo eixo que corresponder uma falha de 2 mm. Depende de como foi feito o eixo, da temperatura de vazamento, da granulometria, etc. Temos uma variedade imensa de eixos: — com grãos pequenos e médios; com segregações e porosidade na parte central. São fatores que não nos permitem avaliar.

H. Maeder — Se tivermos um cabeçote de 4 MHz, com 4.º de abertura — e aqui tivermos um defeito de 1 mm — não seria possível calcular a área ultrassônica?

M. M. Zanella — Se o senhor obtiver eixos todos iguais, perfeitamente idênticos, em que a sua superfície de aplicação e da reflexão, porosidade, granulometria, segregações, composição, tudo isto perfeitamente igual, pode ser que o senhor consiga. Para não complicar, já não cito a forma, a superfície e a posição do defeito.

H. Maeder — Como a granulação modifica a propagação das ondas?

M. M. Zanella — Começamos pelos lingotes. Conforme a firma, é feito um lingote só e, em seguida, forjados. São tratados termicamente conforme o caso. Tudo isso influi na granulometria e visa a refinar os grãos, dando-lhes uma estrutura uniforme. Mas não é o que normalmente se encontra na série de eixos importados. Aliás, é o problema da Central do Brasil, com relação aos eixos que estão sendo retirados do uso em virtude de fratura. A granulação é imensa.

Teoricamente, poder-se-ia fazer. Seria o ideal. Mas vamos aplicar isso em eixos de diversas procedências? Como disse de início, duas peças não se comportam da mesma forma no ultrassom. O resfriamento e tudo isso influi interna e externamente. Também influi a pessoa que aplica, pois que há superfície de contacto mais ou menos rugosas. Peças, com a mesma dimensão, não se apresentam da mesma forma.

S. Friedrich — Se o Eng. Mário Zanella me permite a interrupção, gostaria de esclarecer que, para este caso dos eixos é mais difícil do que os presentes imaginam estabelecer-se padrões para os defeitos: se se obtém um pique de pequena altura, o defeito é classificado como sendo de pouca gravidade; com uma altura um pouco maior, a gravidade é média, e assim por diante. Quando a verificação é feita na extremidade, as indicações são pequenas, porque em geral os defeitos são trincas superficiais transversais, que se aprofundam. De maneira que as trincas nunca poderão refletir totalmente o ultrassom. As indicações normais são sempre pequenas; uma vez verificado que existe uma trinca, por meio da coloca-

ção do cabeçote na extremidade, faz-se a comprovação com cabeçotes de ângulo, ao longo da geratriz. Portanto, para êste caso de eixos, creio ser difícil estabelecer-se padrões.

M. M. Zanella — Procuramos, nestes casos, avaliar a extensão do defeito. Não nos limitamos unicamente à frequência e ângulo, porque tudo pode acontecer.

H. Maeder — O senhor acha que a granulometria do aço tem grande influência?

M. M. Zanella — Grande influência de propagação, de absorção das ondas. Uma peça testada antes e após um tratamento térmico apresenta diferentes piques. Após o tratamento e um recozimento, temos um pique que é quase o dôbro, porque a permeabilidade é outra.

Rodolfo Kubli (7) — Temos um problema muito difícil, que são as chapas para máquinas de passar a ferro. A forma da chapa é esta (desenho) e ela se funde em alumínio. A nossa dificuldade consiste em que nestas secções se formam orifícios muito pequenos, quase microscópicos. Gostaria de saber se se poderia usar o ultrassom para comprovar a existência desses pequenos orifícios nessas chapas, as quais têm, mais ou menos, 35 mm.

M. M. Zanella — Nesse caso, teríamos que usar uma outra frequência. Não tenho trabalhado com alumínio; no cobre o comprimento da onda é de 1,1 para 4 megaciclos. Vamos supôr que o defeito fôsse êste (desenho). Neste caso, usaríamos onda de alta frequência.

R. Kubli — Se aqui há uma rachadura, o ultrassom a indicaria?

M. M. Zanella — Indica perfeitamente.

R. Kubli — E se fôr muito pequena, não marca?

M. M. Zanella — Depende do comprimento. Para um cabeçote de 4 megaciclos, temos 1,1 de comprimento de onda. Todo defeito menor do que isso, a onda o ultrapassa (esquema no quadro).

R. Kubli — E o defeito de um milésimo de milímetro?

S. Friedrich — Defeito dêsse tamanho o aparelho não detecta.

M. M. Zanella — Sei que se fabrica um cabeçote de 8 megaciclos, com o qual talvez se conseguisse resultado, não detectando a porosidade, mas mostrando a absorção do eco de fundo. Detectar a porosidade é muito difícil, mas a absorção de eco de fundo talvez seja possível, porque a onda faz êste percurso (desenho). Aí já teremos uma boa indicação. Creio que é o melhor que se poderá fazer.

S. Friedrich — O tamanho do defeito que pode ser detectado é função do comprimento da onda; com 4 megaciclos tem-se no alumínio ondas de 1,6 mm. Defeitos menores do que isso dificilmente poderão ser detectados.

(7) Membro da ABM; Engenheiro da «Sociedad Argentina de Metales»; Buenos Aires; República Argentina.

Janusz Wscieklica ⁽⁸⁾ — Vendo o tamanho da peça, imagino a espessura da parede. Não deveríamos esquecer que o controle ultrassônico da chapa, por exame de reflexão direta, é apenas possível na zona superior da zona morta do aparelho. De acordo com a frequência e o tipo do aparelho, assim será a zona morta do aparelho de reflexão e o intervalo de tempo entre a emissão e a recepção dos ecos, pela parte eletrônica do aparelho.

No caso dessa chapa, o exame ultrassônico é impossível pela leitura direta, porque não vai mostrar nada. É apenas possível o exame da curvatura de amortecimento sucessivo. É o mesmo que acontece com o exame de chapas finas. Na chapa fina, com controle ultrassônico, podemos obter a classificação de defeitos abaixo de meia polegada. Este é um caso particular e, no caso de defeitos tão pequenos, o exame obtido pela curva de amortecimento não mostra nada. Só é possível o exame estudando-se a curva de amortecimento das reflexões sucessivas. É o mesmo problema que ocorre no exame de chapas finas. Nas chapas finas, no controle ultrassônico, podemos classificar como abaixo de meia polegada. Este é um problema totalmente particular e, no caso de defeitos tão mínimos, a indicação obtida pelo exame da curva de amortecimento não mostra nada.

S. Friedrich — Até onde tenho conhecimento do assunto, esse controle do tamanho de grão por ultrassom não é possível. Não sei se algum dos presentes tem outra indicação.

M. M. Zanella — É um estudo que está sendo feito. É sempre a questão do amortecimento do eco de fundo. Há aplicação de uma onda; ela parte e volta (desenho). Se tivermos espaço para 1 cm, por exemplo, essa onda de 1, 2 cm tornará a voltar e teremos uma curva de amortecimento. Mas não são somente os vãos que podem produzir essa curva de amortecimento. Segregações, diferenças de estrutura também podem conduzir a isso. Se for um problema isolado de grãos, talvez se possa atacar dessa maneira.

S. Friedrich — Somente com a finalidade de aumentar o brilho da exposição do Eng. Mario Zanella, sugeriria que o Eng. Otto Weinbaum desse seu ponto de vista, pois tem grande conhecimento da matéria.

Otto Weinbaum ⁽⁹⁾ — Fizemos ensaios com eixos de estrada de ferro de 180 a 200 mm de diâmetro e ficamos, inicialmente, muito alarmados com os resultados. Encontramos os piques que o Eng. Zanella mencionou. Então seccionamos alguns desses eixos e encontramos pequenas diferenças de zona microestrutural, absolutamente sem efeito com relação à resistência da peça.

De modo que quem vai começar o estudo com o ultrassom deve ter o cuidado de não se deixar alarmar com pequenos piques que vão surgindo no cinescópio, os quais levam a pensar tratar-se de trincas. Trincas nem encontramos. Eram somente pequenas diferenças de microestrutura, que já provocavam piques elevados. Por isso, é extremamente difícil julgar o perigo que um pique representa quanto à peça.

S. Friedrich — É uma informação valiosa a do Eng. Weinbaum, porque todos os que se vão iniciar no estudo com o ultrassom devem ter

(8) Membro da ABM; Engenheiro dos Laboratórios da Usina de Monlevade da CSBM; Monlevade, MG.

(9) Membro da ABM; antigo Diretor dos Laboratórios do ITA em São José dos Campos, SP.

sempre em mente que muita coisa que aparece como defeito, não o é. Sòmente a experiência é que permite um julgamento mais exato.

H. Maeder — O senhor pode dizer quais eram êsses defeitos estruturais?

O. Weinbaum — Pequenas segregações. Devemos partir do ponto de que qualquer diferença de densidade na peça propaga piques, dos quais o senhor sugeriu que se fizesse uma curva. Isso, a meu ver, não é possível; o mesmo pique pode ser provocado por diferentes causas. De modo que êsse não é, infelizmente, o meio de orientar-se sòbre o tamanho do defeito e o perigo que representa para a peça.

H. Maeder — Qual a estrutura do defeito, na altura da indicação?

O. Weinbaum — A conformidade do defeito pode-se perfeitamente determinar. No eixo é perfeitamente simples, porque há uma fuga ao passar no ultrassom.

Pedro Silva ⁽¹⁰⁾ — Sabemos que a Central do Brasil teve problemas com eixos importados. Parece-me que cêrca de 2.000 vagões estavam, constantemente, com seus eixos quebrados. Ela pediu o auxílio das diversas entidades que estavam usando o ultrassom. Portanto, era um problema sério. Pelas informações do Eng. Weinbaum vimos que em alguns casos se tratava apenas de uma questão de granulação, sem gravidade. Perguntaria, então, qual o parecer final após êsse estudo, tendo em vista a gravidade que o problema apresentava de início.

O. Weinbaum — Examinei eixos estrangeiros e nacionais. Nos eixos estrangeiros, encontrei êsses piques estranhos com mais freqüência do que nos nacionais. Cortámos eixos estrangeiros e não encontramos neles falhas de gravidade, que pudessem pôr em perigo o seu funcionamento. Fizemos o confronto dêsses exames de ultrassom com a metalografia.

Ludwig Forster ⁽¹¹⁾ — Queria fazer uma pergunta a respeito do exame feito na CSN. O Eng. Mário Zanella faz menção a mil eixos. Pergunto qual a posição exata dêsses mil eixos, depois que foram examinados com o ultrassom; qual a conclusão a que se chegou? Foram retirados do serviço? Os eixos suspeitos foram examinados para se estabelecer uma relação entre as informações obtidas pelo ultrassom e o resultado do exame neles procedido?

M. M. Zanella — Temos duas respostas a dar. Os eixos examinados eram da Central do Brasil e de aço SAE-1045. A Central pediu-nos que examinássemos se havia trincas. Primeiramente determinamos a trinca e depois a sua dimensão. Fornecemos a essa empresa o número dos vagões e os eixos defeituosos foram convenientemente marcados. Se êles fizeram estudos, não sei.

Na CSN aplicamos o ultrassom. Se surge um eixo trincado, é retirado e procura-se verificar a causa metalograficamente. Primeiramente examina-se grão austenítico, a presença de inclusões, decarbonetação, marcas superficiais, etc.; faz-se todo um conjunto de estudos para verificar-se a causa.

(10) Membro da ABM; Engenheiro da Usina de Volta Redonda da CSN; Volta Redonda, RJ.

(11) Membro da ABM; Engenheiro de Forjas Nacionais FORNASA.

L. Forster — Desejo frisar que o estudo feito em mil eixos deve ser considerado, em princípio, muito importante. Gostaria de saber se seria possível obter-se as conclusões a que se chegou, inclusive se se estabeleceu uma relação conveniente entre a dimensão do eixo e a carga nele aplicada no vagão. Essas informações são muito importantes, considerando-se que estamos há muito tempo fabricando eixos no Brasil. Sabemos que existe discussão em torno do padrão de eixos; portanto esse é um estudo altamente oportuno para ser distribuído entre as firmas interessadas. É o pedido que diretamente faço a quem, no caso, possa assegurar a entrega desse estudo.

S. Friedrich — A sugestão é muito interessante. É provável mesmo que se faça um trabalho desses e que seja divulgado.

Gastone Burello ⁽¹²⁾ — Sobre a pergunta se era possível medir-se espessura muito fina, posso dizer que a técnica moderna permite, por meio de reflexões múltiplas, medir-se espessuras de décimos de polegadas em alumínio e aço. Quer dizer que hoje se pode ir a espessuras menores de décimos de polegada e se usam frequências da ordem de 25 megaciclos.

S. Friedrich — No caso de chapas finas, usam-se ondas oblíquas, que atravessam a peça, refletem na extremidade e voltam. Depende também do tipo de ondas que se empregam; no caso de ondas inclinadas, das quais o Eng. Burello está falando, o caso é diferente.

Joel A. Blank ⁽¹³⁾ — Considerando o caso das peças fundidas, peças mais ou menos complexas e relativamente leves, o senhor falou na necessidade, vamos dizer, de outros tipos de pré-usinagem para assentamento da queda ou preparação das superfícies para assentamento do cabeçote. Pergunto como aplicaria esse sistema para peças leves. Já se tem mostrado econômico dentro da indústria? Tem tido sucesso? Tenho a impressão de que o equipamento do ultrassom ainda está em pesquisa, que está na sua fase de recém-nascido, que não alcançou maturidade. Gostaria de que me citasse algumas firmas que trabalham com sucesso na inspeção de defeitos com ultrassom.

M. M. Zanella — Seria mais fácil citar firmas que trabalham com insucesso. O aparelho de ultrassom é ótimo; mas é preciso contar com a dedicação de uma ou mais pessoas exclusivamente para esse fim. Firms que pagaram com vontade o aparelho e que designaram pessoas para essa finalidade, conseguiram sucesso. Creio que há representantes de várias firmas aqui presentes, que usam ultrassom e que conseguiram bons resultados.

Para produção em massa, a aplicação do ultrassom é mais fácil. Só haverá dificuldades nas primeiras peças a serem examinadas; após isto, o exame se repete. E a pessoa que trabalha no ultrassom em pouco tempo está apta para fazer a detecção daquela determinada peça.

S. Friedrich — Gostaria de acrescentar um esclarecimento. O ultrassom não está na fase inicial. Talvez esteja ainda um pouco longe da maturidade, mas sua técnica está bem adiantada; desde o fim da guerra que está sendo empregado. De maneira que a experiência colhida é muito grande. Os setores em que é aplicado são os mais variados; mesmo no Brasil, ao que tenho conhecimento, existem várias firmas que o empregam com sucesso. É o caso da Siderúrgica Mannesmann, que foi mencionada e «Aços Villares» que faz controle rotineiro

(12) Membro da ABM; Engenheiro de Forjas Nacionais FORNASA.

(13) Membro da ABM; Engenheiro de Forjas Nacionais FORNASA.

das peças. Deve haver outras firmas que também o empregam. Na CSN, nossa experiência maior é com peças fundidas, isto é, com peças pouco uniformes, muito variadas e em geral grandes.

J. A. Blank — Ainda assim, em escala de laboratório e não em grande escala. Complementando, e talvez se afaste um pouco do assunto que se está tratando aqui, no caso de solda em chapa, como interpreta a utilização do raio «X»?

S. Friedrich — Deve-se interpretar da seguinte maneira: o ultrassom não exclui o raio «X». Ele, muitas vezes, diminui o emprêgo do raio «X», limitando-o a certas peças. De modo que muita coisa que era feita com o raio X pode, e está sendo feita, com ultrassom. Mas isso não exclui o raio X. Há casos em que é necessário o seu emprêgo. Ele é, pode-se dizer, uma complementação para muitos casos.

Paulo Dumont Villares ⁽¹⁴⁾ — Na questão do ultrassom, poderia dar meu testemunho. Temos em nossa usina seis aparelhos de ultrassom; como sabem, os nossos produtos se dividem em dois ramos principais: peças laminadas e peças fundidas. O uso do ultrassom em barras laminadas não apresenta dificuldades; os resultados são perfeitamente representativos.

Devo esclarecer também um ponto que tem sido alvo de dúvidas: o da interpretação de resultados do ultrassom. No caso de barras, essa interpretação, para nós como para outros, tem sido simples, porque se pode fazer, por exemplo, provas macrográficas das partes correspondentes ao pé e à cabeça do lingote e antecipadamente podemos ter uma idéia bastante clara do que vamos encontrar no centro da barra, segregações, por exemplo. Portanto, com boa precisão, podemos depois interpretar resultados do ultrassom. No caso de peças fundidas, a dificuldade é bem maior.

Como o Eng. Friedrich disse, o ultrassom não exclui o uso do Raio X. Também não se faz necessário o uso do ultrassom sistematicamente. Isso porque uma vez fundida uma peça e tendo esta apresentado boa estrutura a um exame a que se procedeu, estão conhecidas suas condições ótimas de fundição; pode-se esperar das demais e nas mesmas condições, estrutura análogamente boa. Assim, não há necessidade sistemática da utilização do ultrassom em tôdas as peças fundidas de uma série só, de um dado tipo.

S. Friedrich — Agradeço suas informações, que foram realmente muito interessantes e que partem de firma que talvez tenha maior experiência, entre nós, no emprego do ultrassom: Aços Villares.

M. M. Zanella — Quero dizer ao representante da Villares que na CNS sucedeu o mesmo. De início, muitas peças apresentavam defeitos sistemáticos ao exame U.S.; uma simples correção nos alimentadores ou na técnica de vazamento sanaram êstes defeitos. E o U.S. passou a ser usado periodicamente, em apenas algumas peças de cada lote.

(14) Membro da ABM; Engenheiro de Aços Villares S/A.; São Paulo, SP.