



AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE
ICP™



Procedimento genérico API para o dimensionamento de trincas por exame ultrassônico Phased Array

API-UT-11

Este procedimento define os métodos e técnicas recomendadas para o dimensionamento manual de trincas por exame ultrassônico *Phased Array*

1. Escopo

- 1.1 Este procedimento é aplicável apenas a exames ultrassônicos realizados para o Programa de Certificação de Inspetores por Ultrassom do *American Petroleum Institute* (API).
- 1.2 O procedimento a seguir aborda equipamentos e técnicas de avaliação para exame de dimensionamento da altura da trinca do lado oposto usando amostras de aço carbono soldadas de topo com espessura de 0,375" a 1,00".
- 1.3 Este procedimento fornece diretrizes e técnicas para dimensionamento de altura ultrassônica de trincas planares que se originam no lado oposto da superfície de varredura ou no diâmetro interno (ID).
- 1.4 Este procedimento é limitado ao dimensionamento manual de trincas por ultrassom Phased Array para métodos de contato não codificados, usando ondas longitudinais refratadas e técnicas de ondas de cisalhamento.
- 1.5 Outros métodos e técnicas ultrassônicas Phased Array podem ser usados quando um bloco de calibração de dimensionamento apropriado é utilizado.
- 1.6 Transdutores ultrassônicos especiais de ondas longitudinais e/ou de cisalhamento e blocos de calibração de dimensionamento ultrassônicos especiais podem ser usados para os exames de dimensionamento, desde que atendam aos requisitos deste procedimento.

2. Referências

- 2.1 American Society for Nondestructive Testing (ASNT), SNT-TC-1A
- 2.2 American Society of Mechanical Engineers (ASME) Boiler and Pressure Vessel Code, Section V
- ASTM E 2491-08 Standard Guide for Evaluating Performance Characteristics of Phased-Array Ultrasonic Testing Instruments and Systems
- 2.4 ASTM Crack Sizing Standard ASTM E-2192

3. Requisitos de Pessoal

O pessoal que realiza o exame de dimensionamento deve ser, no mínimo, certificado para UT Phased Array Nível II ou III de acordo com ASNT TC1A ou esquema de certificação industrial equivalente.

4. Equipamentos

4.1. Equipamentos Ultrassônicos

4.4.1. Qualquer equipamento ultrassônico *Phased Array* de feixe convencional pode ser usado, desde que satisfaça os requisitos deste procedimento. Os equipamentos

ultrassônicos devem ser equipados com um ganho de dB calibrado ou controle de atenuação escalonado em incrementos de 2 dB ou menos.

4.1.2 O equipamento Phased Array e a seleção do transdutor ultrassônico podem ser um fator no desempenho do dimensionamento da trinca PAUT. A qualidade dos dados melhora com um número maior de canais PAUT. Os equipamentos e transdutor ultrassônico PAUT usados para este procedimento devem ter 16 canais ou mais.

4.1.3 A linearidade do equipamento ultrassônico deve ser verificada em intervalos não superiores a 3 meses, de acordo com a norma ASTM E 2491-08.

4.2. Transdutores ultrassônicos

4.2.1 Os transdutores ultrassônicos *Phased Array* devem estar na faixa de frequência de 1,0 a 15,0 MHz.

4.2.2 Os transdutores ultrassônicos *Phased Array* devem ter no mínimo 16 elementos.

4.2.3 Os transdutores ultrassônicos *Phased Array* podem ser do tipo elemento simples ou duplo, podendo produzir cisalhamento e/ou ondas longitudinais.

4.2.4 As sapatas do transdutor ultrassônico *Phased Array*, em combinação com as capacidades do equipamento *Phased Array*, devem ser capazes de produzir 40-70 cisalhamentos ou ondas de compressão em aço carbono.

4.2.5 As sapatas do transdutor ultrassônico *Phased Array* de feixe reto, em combinação com as capacidades do equipamento *Phased Array*, devem ser capazes de produzir ondas de compressão de -30 a +30 graus.

4.2.6 Os transdutores ultrassônicos *Phased Array* devem ser capazes de física de produzir ondas apropriadas para os métodos de dimensionamento de trincas descritos neste procedimento.

4.2.7 Deve ser realizada verificação de elemento morto, de acordo com as instruções do fabricante do equipamento, antes da inspeção ou quando o transdutor não produzir a resposta esperada. Um transdutor com mais de 2 elementos mortos seguidos e com mais de 25% de abertura ativa não deve ser usada.

4.2.8 Outras unidades e técnicas de varredura *Phased Array* podem ser usadas, desde que os métodos e técnicas cumpram os requisitos deste procedimento.

4.3. Cabeamento

Pode ser usado qualquer tipo e comprimento conveniente de cabo de transdutor ultrassônico PAUT.

4.4. Acoplante

Pode ser usado qualquer material acoplante.

4.5. Blocos de calibração

4.5.1 Blocos de calibração de dimensionamento de trincas devem ser usados para estabelecer calibrações específicas para os métodos de dimensionamento identificados neste procedimento.

4.5.2 Os blocos de calibração de dimensionamento devem conter refletores de chanfros

e/ou furos laterais (SDH) em profundidades específicas conhecidas para calibração do método de dimensionamento aplicável.

4.5.3 Os blocos de calibração de dimensionamento devem ser fabricados com materiais de aço carbono.

4.5.4 Normalmente, uma placa plana com entalhes ou furos laterais variando de 20% a 80% através da parede em passos de 20% é usada para calibrar a faixa de tela em profundidade. Outras espessuras de blocos na faixa do material a ser examinado podem ser usadas.

4.5.5 Blocos de calibração de dimensionamento de trincas devem ser usados para calibração de outros métodos de dimensionamento.

4.5.6 Blocos de referência (ou seja, IIW, NAVSHIP, DSC, Rompas, etc.) podem ser usados para estabelecer a velocidade do material, faixas de tela linear, determinando ângulos refratados, informações de ponto de saída e ganho de tempo corrigido (TCG).

4.5.7 Os blocos de calibração devem ser feitos de material de aço carbono.

4.5.8 Os blocos de calibração e referência devem ser identificados por tipo, número de peça ou número de série no registro de calibração do sistema.

5. Calibração

5.1. A temperatura do material do bloco de calibração deve estar dentro de 25°F do componente a ser examinado.

5.2. Calibração do sistema *Phased Array*

5.2.1 As calibrações do sistema *Phased Array* devem ser realizadas para atraso de cunha (wedge delay), faixa de tela (velocidade) e sensibilidade do sistema. As calibrações DAC ou TCG são opcionais.

5.2.2 Quaisquer alterações no transdutor ultrassônico, sapatas, equipamento, abertura, foco, acoplante ou fonte de alimentação devem ser motivo de recalibração.

5.2.3 A calibração para o alcance da tela pode ser realizada por percurso sônico direto ou profundidade real.

5.3.2 A calibração inicial do sistema deve ser feita utilizando um bloco básico de calibração. Se um bloco de referência, por exemplo, bloco Rompas, for usado para realizar a verificação da calibração do sistema, a localização e a amplitude do(s) refletor(es) do simulador devem ser documentadas no registro da calibração.

5.3.3 A calibração da distância da tela deve ser de pelo menos 1 percurso em V completo para o ângulo máximo que será usado durante o exame.

5.3.4 A calibração de atraso de Cunha (Deslocamento Zero) deve ser executada de acordo com as instruções do fabricante do equipamento para todas as leis focais usando um orifício lateral perfurado em uma profundidade conhecida.

5.3.5 A Sensibilidade ou ACG (Ganho de Ângulo Corrigido) deve ser realizado de acordo com as instruções do fabricante do equipamento, usando um furo lateral de 0,039-0,079 polegadas (1-2 mm) de um bloco de calibração NAVSHIP, IIW, PACS ou

ASME.

5.3.6 O Ganho Corrigido de Tempo (TCG) ou Correção de Amplitude de Distância (DAC) pode ser usado continuando o mesmo processo em uma série de furos laterais para calibrar refletores em diferentes profundidades ou percursos no metal para que todos sejam detectados na mesma amplitude (normalmente 80% de amplitude).

5.3.7 Outras técnicas de dimensionamento ou variações das técnicas podem ser utilizadas de acordo com este procedimento.

6. Exame

6.1 Requisitos de Varredura

6.1.1. O mesmo equipamento, cunha de contato, leis focais e focagem usados durante a calibração devem ser usados para o exame.

6.1.2 O feixe *Phased Array* deve ser focado um pouco além da espessura do componente. O feixe pode ser refocalizado na profundidade de uma indicação e avaliado de acordo com os requisitos deste procedimento.

6.1.3 Cada corpo de prova de trincas deve ter um número de identificação único.

6.1.4 S-Scans setoriais e E-Scans eletrônicos podem ser usados para os ângulos apropriados que garantem a cobertura completa da solda e da zona afetada pelo calor.

6.1.5 Antes de realizar os exames de feixe angular, deve ser realizado um exame de feixe reto ou medição de calibre da espessura real do metal base do corpo de prova de trincas e usado nos cálculos de altura de trinca PAUT, quando apropriado.

6.1.6 A varredura deve ser realizada usando uma técnica Raster ou técnica de varredura de linha. Cada varredura de linha deve ser paralela à solda usando uma varredura de setor. As varreduras Raster devem se sobrepor em pelo menos 10% do diâmetro do feixe.

6.1.7 O exame de dimensionamento da trinca deve ser realizado ao longo de toda a extensão da trinca para determinar sua **altura máxima de trinca**.

6.1.8 Devem ser executadas um mínimo de duas (2) varreduras de linha, uma de cada lado da solda, em diferentes deslocamentos de índice da linha central da solda.

6.1.9 A configuração do reforço de solda pode restringir o movimento do transdutor para o dimensionamento adequado da trinca usando a técnica específica. Selecione a técnica de dimensionamento de trinca apropriada para acomodar essa limitação.

6.1.10 O ganho do equipamento ultrassônico pode ser aumentado conforme necessário para obter sinais de ponta de trinca, desde que o ruído de fundo não seja excessivo. A sensibilidade da varredura deve manter um nível máximo de ruído de 5% a 10% FSH.

6.1.11 O método de dimensionamento e o transdutor devem ser adequados para estabelecer a altura máxima da trinca dentro de cada corpo de prova de trincas. Cada técnica de dimensionamento tem certas vantagens, desvantagens e limitações. Nenhuma técnica de dimensionamento é melhor para dimensionar trincas de qualquer

profundidade através da parede em todos os tipos de materiais ou espessuras.

6.1.12 Sempre que possível, a altura da trinca na parede deve ser verificada por mais de uma técnica de dimensionamento.

7. Avaliação de Tamanho

7.1. Aplicação de Dimensionamento: Difração de Ponta

7.2. Descrição: O Método de Difração de Ponta é baseado na energia sonora difratada da ponta de uma trinca. A profundidade real ou tempo de voo (TOF), distância do caminho do som da ponta da trinca, é medida a partir da superfície de entrada ou referenciada à abertura da trinca no ID.

7.3. As duas técnicas básicas de difração de pontas são:

7.3.1 Tempo de Voo (TOF), ou Técnica do Tempo Absoluto de Chegada (AATT). Ver figura 1.

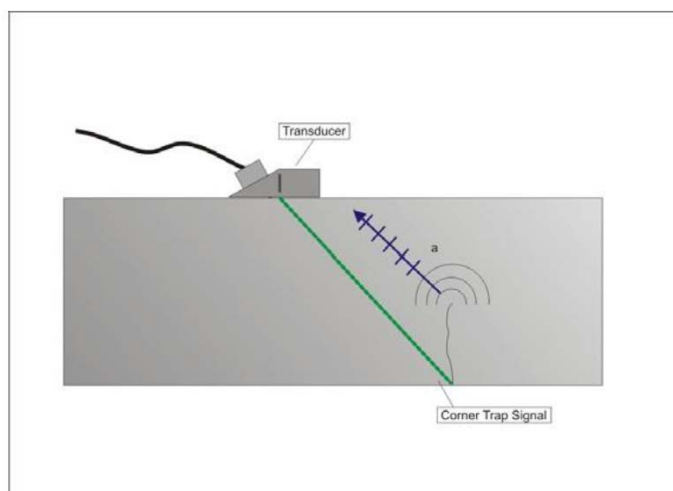


Figura 1 - Técnica do Tempo Absoluto de Chegada

7.3.2 Técnica do Tempo Relativo de Chegada (RATT) ou Técnica do Tempo Delta de Voo (Δ TOF). Ver figura 2.

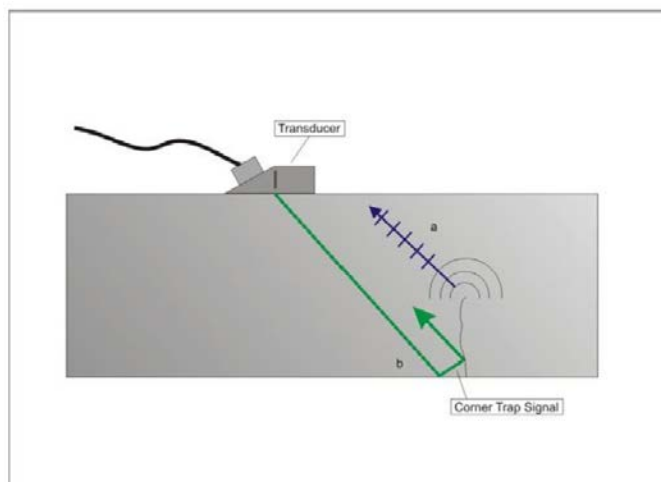


Figura 2 - Técnica do Tempo Relativo de Chegada

7.3.3 Técnica de onda L de feixe reto para AAT ou RATT. Ver figura 3.

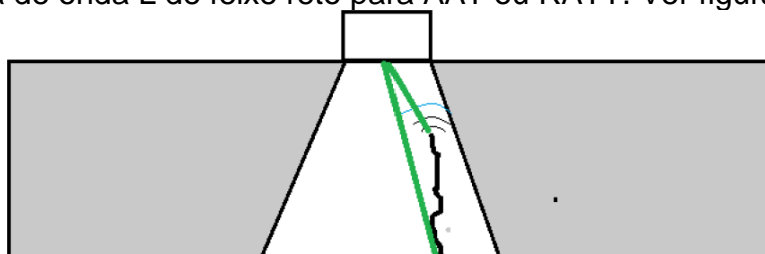


Figura 3 - Técnica de onda L de feixe reto

7.3.4 Avaliação AAT

7.3.4.1 Posicionar o transdutor PAUT de forma que o topo da fissura fique dentro da imagem setorial. Ver figura 4.

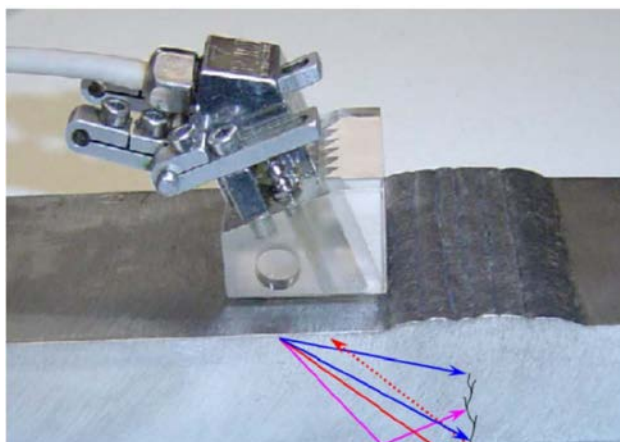


Figura 4 - Posição do transdutor PAUT em relação à posição da trinca

7.3.4.2 Usar movimentos curtos do transdutor no eixo de varredura e índice para identificar o sinal da ponta da trinca do ponto mais alto da trinca da superfície ID.

Nota: Os sinais da ponta da trinca podem ser significativamente mais baixos em amplitude do que os sinais da base da trinca ou da faceta da trinca. Ajustar o ganho do equipamento conforme necessário. Ver figura 5.



Figura 5 - Sinal de ponta da trinca

7.3.4.3 Mover o transdutor e o cursor de ângulo para obter a amplitude máxima de pico. Observar a profundidade mínima da ponta da trinca ou última faceta. Ver a figura 5.

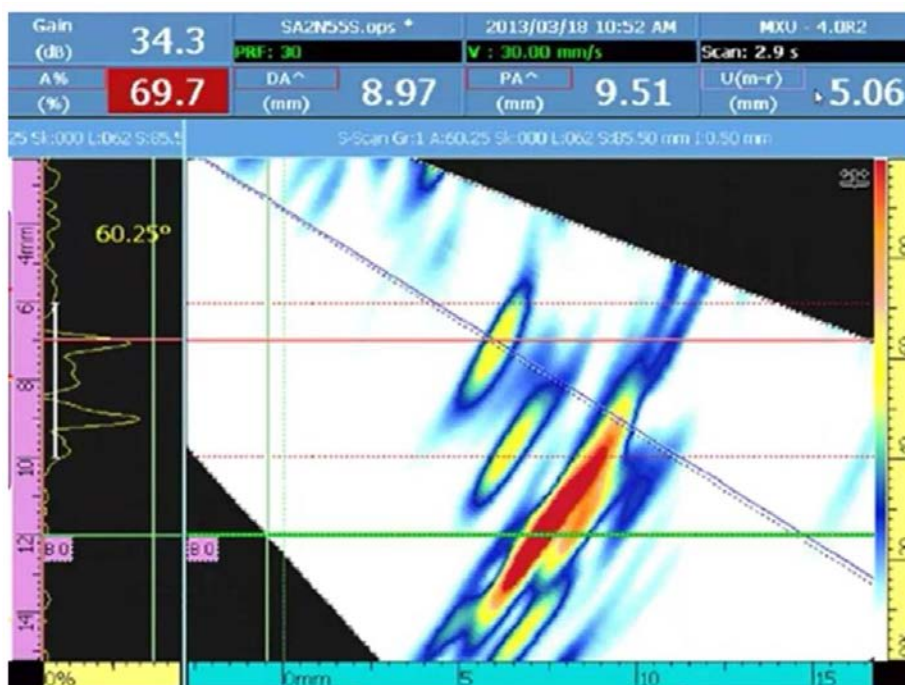


Figura 6 - Dica de amplitude máxima ou último sinal de faceta

7.3.4.4. Ajustar o ganho do equipamento para identificar o centro do ponto de energia do sinal de ponta pelas mudanças na amplitude da cor. Ver a figura 7.

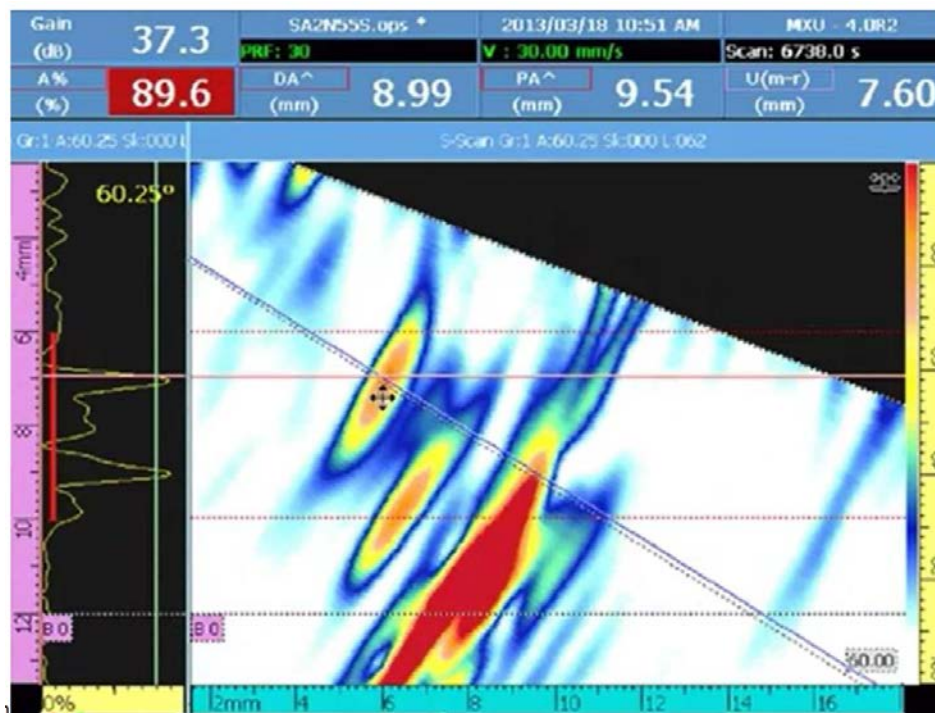


Figura 7 - Determinando o centro de energia (laranja) de um sinal de ponta

7.3.4.5 Medição da Altura da Trinca (AAT): Mover o cursor de ângulo para o pico de sinal mais alto no centro de energia do sinal de ponta. Subtrair esta leitura de profundidade da espessura real do corpo de prova para obter a altura máxima correta da trinca.

7.4. Avaliação RATT:

Usar o cursor de referência U_r e o cursor de medição U_m para medir a altura máxima da trinca pela diferença em suas leituras de profundidade real. Mover o cursor de referência para a profundidade da superfície ID (linha de referência B_0). Mover o cursor de medição para o centro de energia do sinal de ponta conforme 7.3.4.4. Ler a altura máxima da trinca diretamente da leitura de dados U (m-r). Ver a figura 8.

7.5 Ao usar a técnica de meio-V (half-V) para trincas muito altas, o sinal da ponta da trinca pode não ser prontamente discernível devido ao campo próximo e outros efeitos, como limitações de posicionamento do transdutor de reforço da solda. Recomenda-se uma segunda passada de medição da altura da trinca.

7.6 Medição da altura da fissura na segunda perna: O ponto de índice do transdutor é definido para uma distância em que a segunda perna do caminho em V setorial é usada para medir a altura da fissura. Ver a figura 8.

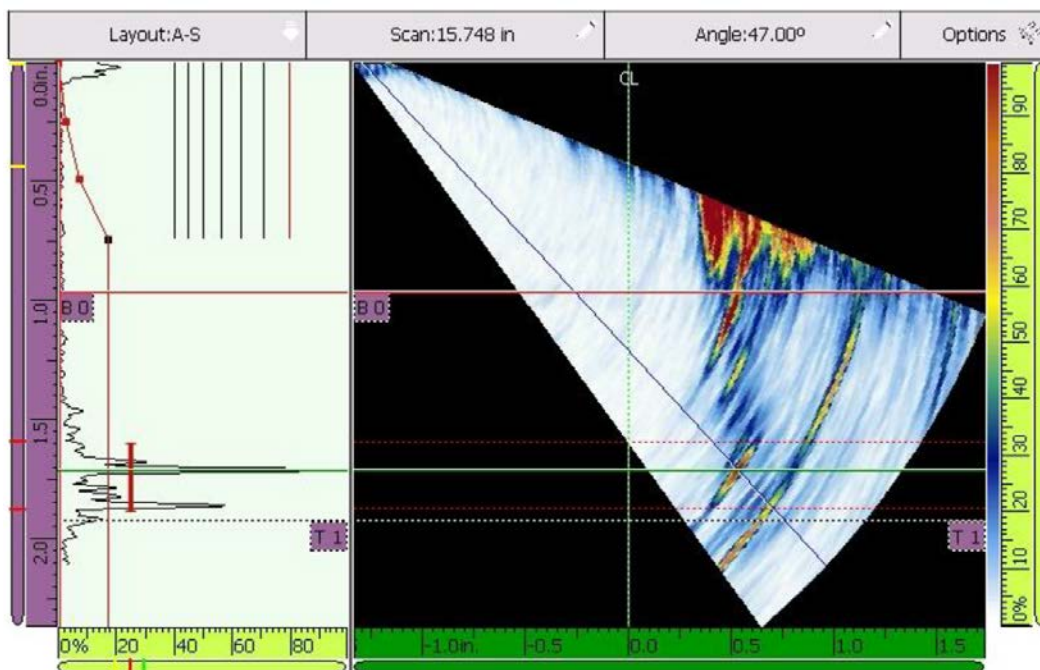


Figura 8 - Segunda perna de medição da altura da trinca

7.6.1 Definir a faixa da tela do equipamento para 2,5 vezes a espessura da amostra.

7.6.2. Estabelecer o índice do transdutor para a base da trinca, as facetas da trinca e as pontas da trinca estão contidas na segunda perna do campo sonoro.

7.6.3. Usar pequenos movimentos do transdutor no eixo de varredura e índice para estabelecer a altura máxima da trinca entre a linha de referência da superfície ID (Bo) e o centro de energia da ponta da trinca mais alta, conforme 7.3.4.4.

7.6.4. Mover os cursores de referência e medição para a referência ID (Bo) e o cursor de medição para o centro de energia da ponta da trinca em direção à linha de referência da superfície OD (T1).

7.6.5 Estabelecer as leituras da altura da trinca usando as técnicas AATT ou RAAT, em 7.3.4.5 e 7.4.

7.7 Técnica de onda L de feixe reto

Observação: As técnicas de feixe reto são normalmente usadas para soldas com reforço removidas.

7.7.1 Quando forem utilizadas ondas longitudinais, estas devem ser limitadas ao uso com a técnica de meio-V.

7.7.2 Sistema ultrassônico para um transdutor PAUT de grau zero com uma cunha de retardo de feixe reto ou um escudo protetor de camada fina na face do transdutor.

7.7.3 Calibre o atraso de cunha do sistema PAUT, velocidade, sensibilidade e TCG opcional conforme apropriado para uma faixa de ângulo mínimo ou -30 a +30 graus. Veja a figura 8.

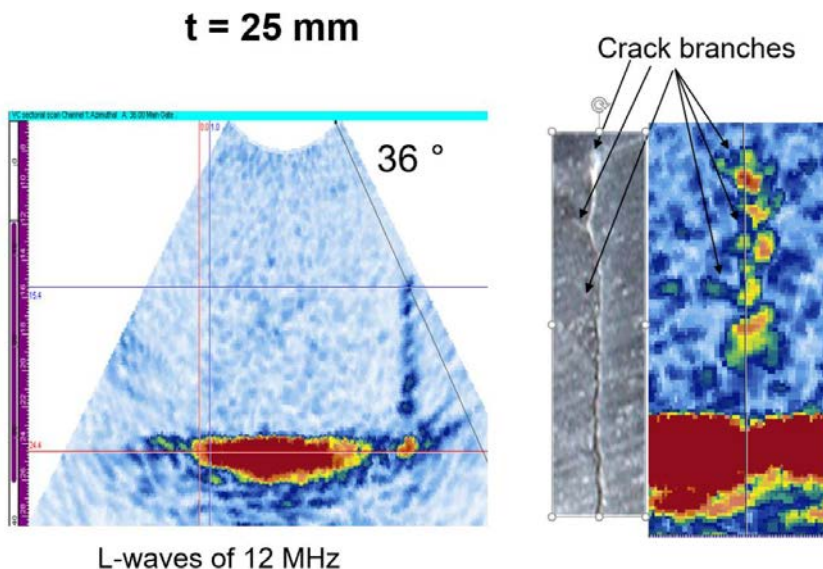


Figura 8 - Imagem de rachadura de onda L de feixe reto PAUT

7.7.4 Use pequenos movimentos do apalpador na varredura e no eixo do índice para estabelecer a altura máxima da trinca.

7.7.5 Mova o cursor de referência de superfície ID para a linha de referência Bo. Mova o cursor de referência para o centro de energia do sinal de ponta de trinca de altura máxima conforme 7.3.3.4.

7.7.6 Estabeleça as leituras da altura da fissura usando as técnicas AATT ou RAAT em 7.3.3.5 e/ou 7.4.

8. Relatório

Registra a altura máxima da trinca para cada barra de dimensionamento de trinca apresentada no formulário API de reporte de dimensionamento de trinca.