

Taubaté, 06/09/14 a 28/11/14

TTEM 017/14

CARACTERIZAÇÃO DOS DEFEITOS EM MATERIAIS COMPOSTOS UTILIZANDO A TÉCNICA DO ULTRASSOM

CHARACTERIZATION OF THE COMPOSITE MATERIAL DEFECTS APPLYING THE ULTRASOUND TECHNIQUE

Signatários:

- **José Adriano de Souza**¹
- Prof. Dr. José Rubens de Camargo – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Francisco José Grandinetti – Universidade de Taubaté/FEG-UNESP
- Prof. Dr. José Rui de Camargo – Universidade de Taubaté

Finalidade: Caracterizar os defeitos em materiais compostos utilizando a técnica do ultrassom.

Duração: 3 meses

1 – Engenheiro Mecânico e aluno do curso de Especialização a nível de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica da Universidade de Taubaté (UNITAU/SP), jose.adriano@outlook.com.

Palavras chave: Ensaios não destrutivos, Ultrassom, Materiais compostos.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo desse trabalho técnico é apresentar como uma série de defeitos inerentes ao processo de fabricação de placas de materiais compostos em fibra de carbono é identificada pelo processo de inspeção utilizando a técnica do ultrassom e quais as características desses defeitos nesse processo de inspeção.

O trabalho técnico se torna relevante uma vez que apresenta características específicas de cada defeito, auxiliando na diferenciação de cada um. Segundo Verri (1995) a correta identificação dos defeitos ou variações do processo colabora com o monitoramento do processo e a eliminação das causas desses desvios.

2. MATERIAIS COMPOSTOS OU COMPÓSITOS

Muitas tecnologias modernas requerem combinações de propriedades não usuais que não podem ser atendidas pelas ligas convencionais, cerâmicas ou materiais poliméricos. Esta afirmação é ainda mais forte para os materiais requeridos pela indústria aeroespacial, submarina e de transportes. Como exemplo, engenheiros de estruturas de aeronaves estão sempre a busca de materiais com baixas densidades, resistentes, rígidos, que resistam bem a abrasão e impacto e que não sofram corrosão com facilidade (Callister, 2002).

O material composto é feito pela composição de dois ou mais materiais para se chegar a uma única combinação de propriedades. Essa definição é mais geral e pode incluir ligas metálicas, plásticos co-poliméricos, minerais e madeira. Materiais compostos reforçados com fibras se diferem dos acima citados uma vez que seus materiais constituintes são diferentes em um nível celular e são mecanicamente separáveis (Mazumdar, 2001).

A figura 1 mostra a classificação de vários materiais compostos.

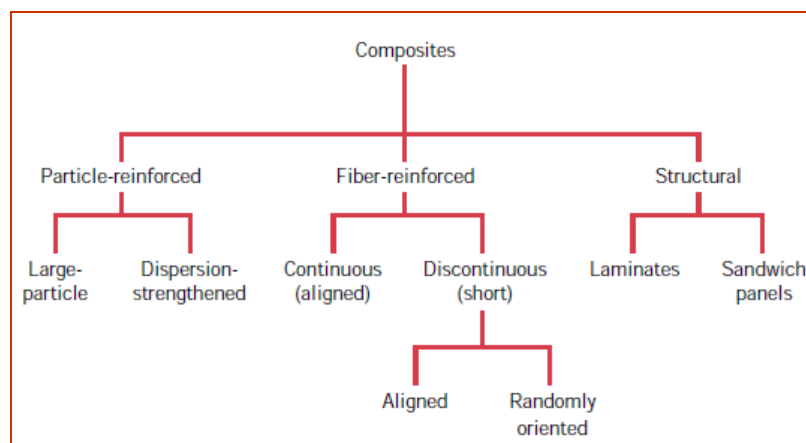


Figura 1 – Classificação dos vários tipos de compósitos (Callister, 2002)

3. MATERIAIS COMPOSTOS EM FIBRA DE CARBONO

Chung 1994 afirma que a fibras de carbono são aquelas com no mínimo 92% em seu peso de carbono em sua composição. Eles podem ser curtos ou contínuos; a sua estrutura pode ser cristalina, amorfa, ou parcialmente cristalina. A forma cristalina tem a estrutura de cristal de grafite, como pode ser visto na figura 2.

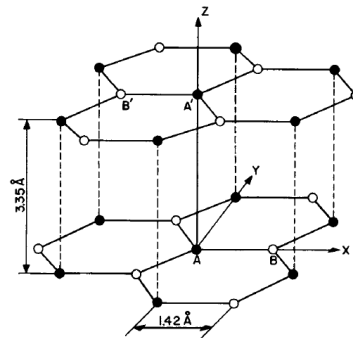


Figura 2 - Estrutura cristalina do grafite (Chung, 1994)

4. COMPOSITOS REFORÇADOS COM FIBRA DE CARBONO

Para Callister (2002) Fibra de carbono é um material de alto desempenho e é muito utilizado. Abaixo algumas razões que justificam a sua grande utilização:

- Maior módulo específico e resistência que as outras fibras
- Mantem suas propriedades em altas temperaturas
- Em temperatura ambiente não é afetado por uma grande variedade de solventes, ácidos e bases.
- Exibe uma diversidade de características físicas e mecânicas permitindo alcançar especificações de engenharia desejadas
- Atualmente o processo de fabricação é de custo viável.

Fibras de carbono tem demonstrado uma vasta variedade de resistência e módulo e conta com uma vasta cadeia de fornecedores, afirma Peters, 1998.

5. DEFEITOS EM MATERIAIS COMPOSTOS

Para Chung (1994) a inspeção de peças de compósitos de fibra é principalmente para observar o arranjo de fibra e defeitos. Defeitos incluem o seguinte:

- Fissuras da matriz (vazios, porosidades)
- Rachaduras fibra
- Fendas de quebra de ligações de interface
- Delaminação (divisão entre lâminas e um laminado)
- Inclusões (corpos estranhos no composto)

Várias técnicas são aplicadas para a identificação desses defeitos, entre elas o ultrassom.

6. ENSAIO NÃO DESTRUTIVO

A Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção (Abendi) define Ensaio Não Destrutivos (END) como sendo as técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los, sendo executadas nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção.

Ainda segundo a Abendi os END estão entre as principais ferramentas do controle da qualidade de materiais e produtos e são amplamente utilizados em diversos setores da indústria, tais como os setores de petróleo/petroquímico, químico, aeroespacial, entre outros.

Para obter resultados satisfatórios e válidos, os seguintes itens devem ser considerados como elementos fundamentais para os ensaios:

- Pessoal treinado, qualificado e certificado
- Equipamentos calibrados
- Procedimentos de execução de ensaios qualificados com base em normas e critérios de aceitação.

6.1. AS PRINCIPAIS TÉCNICAS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END) SÃO:

- Correntes Parasitas
- Emissão Acústica
- Radiografia, Radioscopia e Gamagrafia
- Ensaio Visual
- Estandeidade
- Líquido Penetrante
- Partículas Magnéticas
- Ultrassom
- Termografia

7. ULTRASSOM

Segundo o Centro de Pesquisa em Tecnologia e Inspeção (CPTI) a inspeção por ultrassom é considerada uma das mais importantes técnicas de ensaios não destrutivos (END) por oferecer resultados confiáveis.

A garantia de integridade dos diversos equipamentos utilizados na indústria do petróleo depende fortemente de tecnologias de inspeção e END.

Com o ultrassom é possível, por exemplo, medir corrosão e perda de espessura, localizar trincas, detectar falta de penetração em soldas, entre outras aplicações.

Andreucci (2014) explica que assim como uma onda sonora, reflete ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica ao percorrer um meio elástico, que pode ser um metal, plástico, concreto, etc...refletirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna neste meio considerado. Através de aparelhos especiais, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades. Na figura 3, o feixe sônico do transdutor, incidiu na falha ocorrendo uma reflexão captada pelo mesmo transdutor, enviando o sinal ao aparelho, mostrado na tela em forma de um pulso.

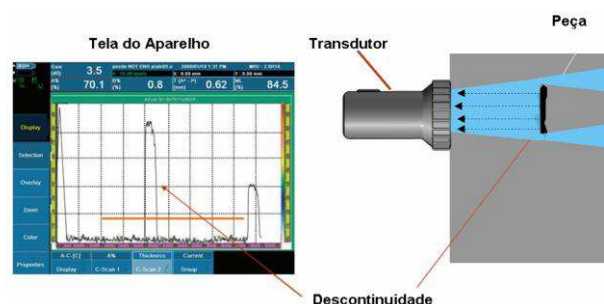


Figura 3 – Princípio básico de inspeção de materiais por ultrassom

7.1 O ENSAIO POR ULTRASSOM

Também segundo Andreucci (2014) o ensaio por ultrassom, caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de defeitos ou descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou forma de materiais ferrosos ou não ferrosos.

7.2 VANTAGENS

Andreucci (2014) apresenta algumas vantagens da técnica do ultrassom.

- Possui alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas descontinuidades internas, por exemplo, trincas e fissuras.
- Dispensa processos intermediários, agilizando a inspeção.
- Não há necessidade de revelar filmes como é no caso da radiografia ou gamagrafia
- Não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação.
- A localização, avaliação do tamanho e interpretação das descontinuidades.
- encontradas são fatores intrínsecos ao exame ultrassônico. Por meio dessa inspeção consegue-se observar a profundidade de um defeito.

7.3 LIMITAÇÕES

- Requer grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor.
- O registro permanente do ensaio não é facilmente obtido.
- Faixas de espessuras muito finas, constituem uma dificuldade para aplicação do método.
- Requer o preparo da superfície para sua aplicação. Em alguns casos de inspeção de solda, existe a necessidade da remoção total do reforço da solda, que demanda tempo de fábrica.
- É frequente a insegurança do inspetor quanto à identificação da indicação detectada na tela do aparelho.

7.4 TECNICA DE IMPULSO ECO OU PULSO ECO

Essa foi a técnica utilizada para as medições dos CDPs objeto desse trabalho técnico. Essa técnica segundo Andreucci (2014) é a técnica onde somente um transdutor é responsável por emitir e receber as ondas ultrassônicas que se propagam no material. Portanto, o transdutor é acoplado em somente um lado do material, podendo ser verificada a profundidade da descontinuidade, suas dimensões, e localização na peça.

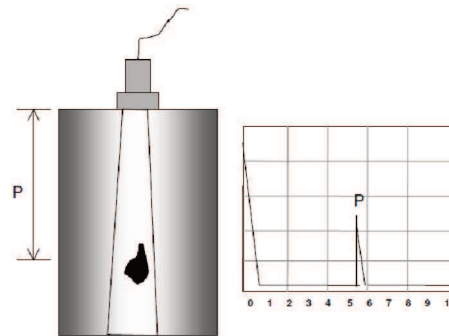


Figura 4 – Técnica impulso-eco (Andreucci, 2014)

8. CARACTERÍSTICAS DOS DEFEITOS UTILIZANDO O ULTRASSOM

Esse trabalho tem como finalidade ilustrar as características de alguns tipos de defeitos encontrados em materiais compostos. Para tanto foram inspecionados dois CDP (CDP 1 e CDP 2) de material composto de fibra de carbono, conforme ilustram as figuras 5, 6, 7 e 8.

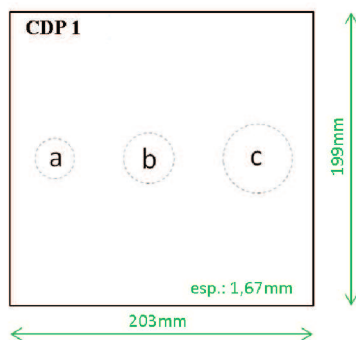


Figura 5 – Croqui CDP 1

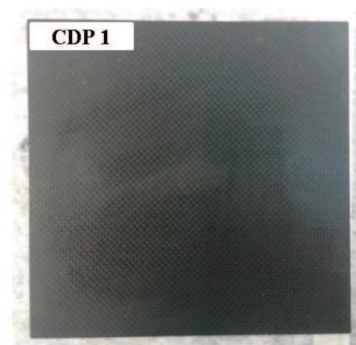


Figura 6 – Foto CDP 1

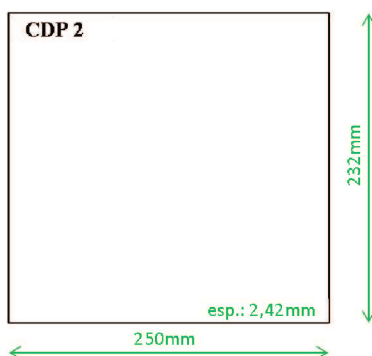


Figura 7 – Croqui CDP 2

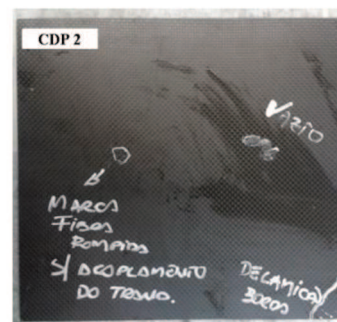


Figura 8 – Foto CDP 2

Os subtópicos seguintes irão apresentar o defeito tratado e os resultados obtidos nas medições.

8.1. DEFEITO: INCLUSÃO (CDP 1)

A seguir são apresentadas as medições realizadas no CDP 1.



Figura 9 – Medição do padrão do CDP 1



Figura 10 – Medição do padrão

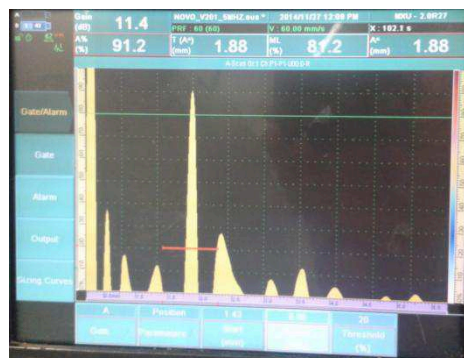


Figura 10 - Medição do CDP 1 (superfície sem defeito)



Figura 11 – Inclusão “a”



Figura 12 – Inclusão “b”



Figura 13 – Inclusão “c”

- Eco intermediário com profundidade constante
- Amplitude inferior à do eco de fundo
- Perda parcial da amplitude do Eco de fundo
- Geometria de contorno regular
- Processo de laminação (automático ou manual)

8.2. DEFEITO: POROSIDADE (CDP 1)

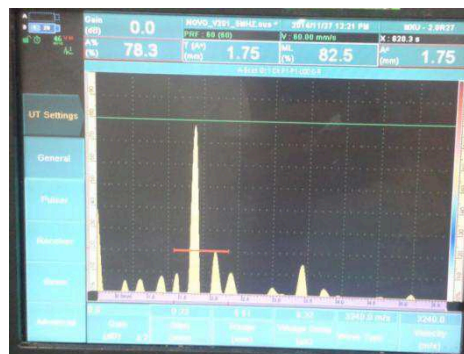


Figura 14 – Medição do padrão do CDP 1

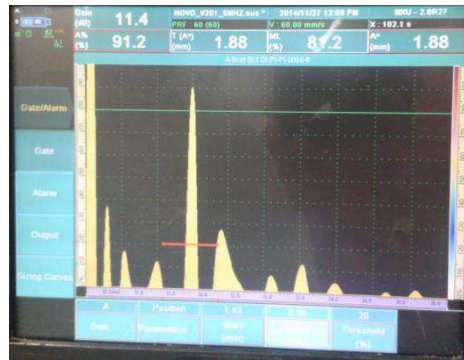


Figura 15 - Medição do CDP 1 (superfície sem defeito)

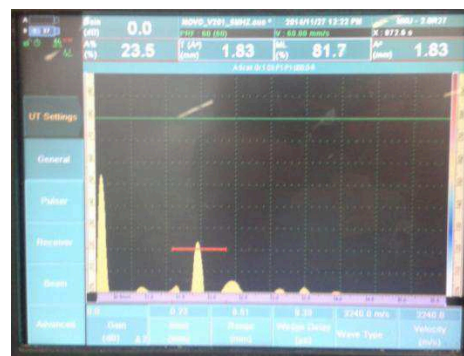


Figura 16 - Medição da porosidade

- Atenuação parcial ou total do Eco de Fundo
- Ecos intermediários de baixa amplitude ao longo da espessura do laminado
- Aspecto visual e gráfico de cura podem auxiliar na classificação (queima, acúmulo de resina, ponto seco, vazamento, etc)

8.3. DEFEITO: DELAMINAÇÃO (CDP 2)

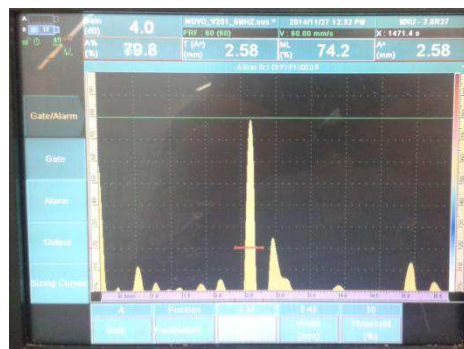


Figura 17 - Medição do padrão do CPD2



Figura 18 - Medição do CDP 2 (superfície sem defeito)



Figura 19 - Medição do CDP 2 (superfície sem defeito)



Figura 20 - Medição da delaminação no CDP 2

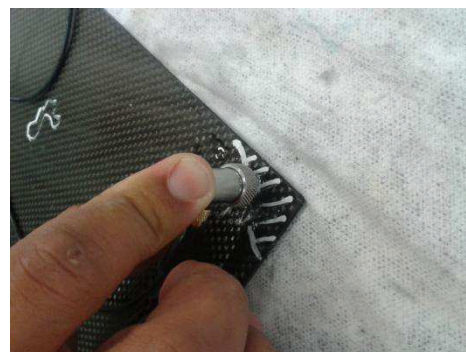


Figura 21 - Medição da delaminação no CDP 2

- Perda total do Eco de Fundo
- Eco intermediário com grande amplitude (considerar profundidade e altura inicial do eco de fundo), possível repetição (dependendo da amplitude do eco e da profundidade)
- Profundidade constante ou variável (impacto)
- Geralmente o contorno é irregular
- Processo de laminação

8.4. DEFEITO: VAZIO (CDP 2)



Figura 22 - Medição do CDP 2 (superfície sem defeito)



Figura 23 - Medição do Vazio



Figura 24 - Medição do Vazio

- Configuração da peça e processo
- Ecos intermediários, perda parcial ou total do eco de fundo ou sinal de transmissão
- Eliminar classificação mais específica (delaminação, ponte, etc)

9. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Ultrassom

Omniscan - Modelo MX

Fabricante: Olympus

Transdutor delay line 5MHz

Diametro ¼" - Modelo V201

Fabricante: Olympus

10. CONCLUSÃO

Embora não tenha sido objetivo do trabalho técnico esgotar as pesquisas e prover todas as características dos defeitos encontrados em materiais compostos de fibra de carbono o resultado do trabalho foi considerado satisfatório, pois pode-se comprovar e demonstrar diferenças encontradas através da inspeção por ultrassom em diversos defeitos.

Como uma das limitações do processo de ultrassom é a própria experiência e formação teórica dos operadores com os resultados obtidos e aqui apresentados podem contribuir para a correta caracterização dos defeitos apresentados nesse trabalho técnico.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andreucci, R. **Ensaio por ultrassom**. Ed. Mai/2014
2. Callister Jr., William D. **Materials science and engineering - An introduction**, 2002.
3. Deborah D. L. Chung. **Carbon Fiber Composites**, 1994.
4. Sanjay K. Mazumdar, **Composites Manufacturing - Materials, Product, and Process Engineering**, 2001.
5. S. T. Peters, **Handbook of Composites**, 1998.
6. Andreucci. Ricardo. **Ensaio por ultrassom**, 2014.
7. Verri, Lewton Burity. **O inimigo da qualidade classe A**, 1995.
8. <http://www.cpti.cetuc.puc-rio.br>
9. <http://www.abendi.org.br>

12. Comunicado de responsabilidade

O autor é o único responsável pelo material pesquisado.

Abstract. The technical aim of this work is presented as a series of manufacturing the carbon fiber composite material plates process inherent defects is identified by the inspection process using the ultrasound technique, and the characteristics of those defects which in this inspection process. The technical work is relevant as it features specific characteristics of each defect, helping to differentiate each. According Verri (1995) the correct identification of defects or process variations collaborates with the monitoring process and the elimination of the causes of these deviations.