

Evaluarea nedistructivă a compozitelor carbon epoxi utilizând arii de senzori calați pe fază

Non-destructive evaluation of carbon epoxy composites using ultrasound phased array

Raimond Grimberg¹, Rozina Steigmann¹, Adriana Savin¹, Alina Bruma^{1,2}, Nicoleta Iftimie¹

¹ National Institute of Research and Development for Technical Physics, Iași, România;

² Al. I. Cuza University, Iași, România

Cuvinte cheie

Evaluare nedistructivă, arii de senzori ultrasonici, compozit carbon epoxi

Keywords

Non-destructive evaluation, ultrasound phased array, carbon epoxy composite

1. Introducere

Materialele compozite ranforsate sunt formate prin înglobarea de fibre cu rezistență și rigiditate ridicată în matricea materialului constituent. Fibrele pot fi unifilamentare sau fascicole de fibre, care sunt răsucite pentru formarea unui fir. În general, firele utilizate sunt nemetalice, continue ca sticla, grafit, kevlar, carbura de siliciu, etc. În plus, se poate utiliza ranforsarea discontinuă cu fibre scurte, "whiskers", plăcuțe. Principalele clase de compozite structurale, utilizate în prezent, sunt compozitele matrice-polimer, matrice-metal, matrice-ceramică, compozite carbon-carbon și compozitele hibride.

În aceste clase de compozite, compozitele cu matrice polimerică sunt cele mai larg dezvoltate, cu o gamă largă de forme și proprietăți comerciale acceptate. Aceste materiale sunt caracterizate de greutate, rezistență și rigiditate, rezistență la coroziune și rezistență la oboseală [1], [2].

Defectele în compozite se datorează câtorva factori incluzând proiectarea improprie, fabricarea sau deteriorări induse în timpul utilizării. Defectele de proiectare includ număr incorect de fibre, rășini incompatibile sau concentrații nedorite de tensiuni.

Defectele de fabricație sau manufacturare includ întreruperi ascunse, noduri, lipsă de rășina, rășina incorect răcită. Defectele care se dezvoltă în timpul utilizării includ fisuri, microfisuri ale matricei, ruperi de fibre, dezlipiri fibre-matrice și deteriorări datorită impactului, acestea ducând la delaminări și fisuri mari ale matricei.

Repetatele cazuri de defecte mai sus menționate, în CFRP, sunt un stimulent pentru dezvoltarea de tehnici noi. Doar identificarea deteriorării nu este suficientă. Una din principalele provocări este determinarea cauzei deteriorării, localizarea, seceritatea și impactul asupra performanței structurii ca întreg. Din această perspectivă, controlul nedistructiv poate face legătura între datele experimentale și rezultate cu un model analitic prin caracterizarea în timp real și evaluarea severității defectului.

Pentru punerea în evidență a diferitelor tipuri de defecte în CFRP au fost dezvoltate o serie de metode și proceduri specifice de evaluare nedistructivă ca:

- metode bazate pe vibrații – acestea măsoară frecvențele proprii ale structurii confecționate din compozit permițând

1. Introduction

Advanced fiber-reinforced composite materials are formed by embedding high strength, high stiffness fiber materials within a surrounding matrix of a constituent material. The fibres may be single filaments or multi-filament bundles, the latter being twisted together to form a yarn or tow. The fibers generally used are non-metallic and continuous and are identified as graphite, glass, Kevlar, silicon carbide, etc. In addition to continuous fibers, there are also other types of reinforcements such as short fibers, whiskers, platelets and particulates which are used in discontinuous reinforced composites. The major classes of structural composites used today consist of polymer-matrix composites, metal-matrix, ceramic-matrix composites, carbon-carbon composites and hybrid composites.

Of these classes of composites, the polymer matrix composites are the most widely developed with a wide range of fabricated shapes and accepted commercial properties. These materials are characterized by their weight, high strength and stiffness, corrosion resistance and fatigue resistant properties [1], [2].

Defects in composites may be due to several factors including improper design, fabrication, manufacturing and service induced damage. Design defects include improper number of fibers, incompatible resin and undesirable stress concentrations.

Fabrication and manufacturing defects include concealed cuts, knots, lack of roving, resin starved layers, and improperly cured resin. Defects that develop in-service include cracks, matrix micro-cracks, fiber breakage, fiber/matrix debonding, and impact damage. The latter often shows as delamination and large matrix cracks.

Repeated occurrences of the aforementioned damage types in carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composites produce an incentive for the development of new techniques. It is not sufficient merely to identify the damage. One of the main challenges lies in the determination of the cause of the damage, its location, its severity and impact on the performance of the structure as a whole. From this perspective, nondestructive evaluation (NDE) can help to relate the experimental data and results in an analytical model through real time characterization and assessment of severity of the defect.

punerea în evidență a diminuării rigidității [3] precum și, în unele condiții, ale delaminărilor [4];

- testarea prin termografie în infraroșu – implică luarea de imagini termice a compozitelor, care pot furniza informații despre structura internă; această metodă poate detecta goluri, incluziuni, delaminări și deteriorări de impact [5], [6];

- metode radiografice – permit detectarea delaminărilor, fisurilor și incluziunilor, precum și modificări ale densității și grosimii [7];

- metode de curenți turbionari – permit punerea în evidență a delaminărilor survenite ca urmare a impacturilor chiar cu energie joasă [8], [9], însoțite eventual de ruperi de fibre [10];

- testări cu ultrasunete, utilizând în special modurile de prezentare B și C, sunt în prezent cele mai utilizate metode pentru evaluarea compozitelor carbon-epoxi, permițând evaluarea ariei suprafeței delaminate [11], [12]. Metoda presupune, de cele mai multe ori, imersarea compozitelor într-o baie de lichid și de asemenea este consumatoare de timp. În ultima perioadă pentru evaluarea calității CFRP au început să fie utilizate metode de ultrasunete bazate pe arii de sensori calați pe fază (phased array) [13], [14].

Lucrarea de față își propune să prezinte posibilitatea de utilizare a examinării cu ultrasunete folosind phased array a materialelor compozite tip carbon –epoxi cvasi izotrope și uniaxiale atât sub forma de plăci cât și de grinzi în formă de I. Metoda este folosită atât pentru punerea în evidență a delaminărilor survenite ca urmare a impactării cât și a celor artificiale create prin introducerea unor folii de carbon între straturile de fibre.

2. Probele luate în studiu

Au fost luate în studiu două tipuri de CFRP cvasi izotropice:

A – plăci cu dimensiunile $12 \times 12 \text{ cm}^2$ și grosime 5 mm conținând 48 de straturi de fibre de carbon pre-preg cu distribuția $[-45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ]_s$ impactate cu energii de impact de 6J, 9J, 12J și 15J, iar pe una din acestea au fost create porozități controlate. Conținutul de porozitate în material este direct relaționat cu presiunea aplicată în timpul coacerii. Prin adaptarea presiunii se poate controla conținutul volumic de goluri. Cu cât presiunea aplicată este mai scăzută cu atât rata porozității este mai mare. Obținerea de material cu porozități concentrate local se face după cum urmează:

- câteva straturi sunt suprapuse și coapte cu un ciclu modificat de presiune (presiune scăzută), obținându-se un material subțire cu porozitate distribuită

- alte straturi de pre-preg sunt suprapuse peste acest material și întregul sistem este copt urmând ciclul recomandat.

Pentru acest caz particular au fost pregătite 16 straturi cu porozitate, fără presiune, obținându-se o porozitate de aproape 10% din volum, măsurată prin analiza de imagini.

B – plăci cu dimensiunile $9.5 \times 9.5 \text{ cm}^2$ și 2mm grosime conținând 16 straturi de fibre de carbon cu distribuția $[-45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ]_s$, impactate cu energii de 0.75J, 1.5J, 2.5J, 3J și 4J. Viteza de propagare a undelor ultrasonore de compresie a fost $3200 \pm 50 \text{ m/s}$, a celei de forfecare a fost $1646 \pm 50 \text{ m/s}$ pentru o densitate de 1600 kg/m^3 .

Utilizând relația [15]

For emphasizing the different types of defects in CFRP, a series of NDE methods and specific procedures have been developed, mentioning:

- vibration based methods – these measure the proper frequencies of the structures made of composite, allowing to evidence a stiffness reduction [3] and in some conditions, of delaminations [4];

- thermal infrared testing involves taking thermal images of a composite, which can provide information about its inner structure; this method can detect voids, foreign inclusions, delamination and impact damage [5], [6];

- radiographic methods that allow the detection of delamination, cracks and inclusions as well as modification of density and thickness [7];

- eddy current methods that allows the emphasizing of delaminations due to impacts with low energy [8], [9] accompanied by possible fiber breaks [10];

- ultrasound testing using in special B and C presentation modes are at present the most used for evaluation of carbon-epoxy composites allowing evaluation of the surface of delaminated area [11], [12]. The method supposes, in many cases, the immersion of the composite into a liquid bath and is also time consuming. Lately, for the evaluation of CFRP quality, ultrasonic methods based on phased array transducers [13], [14] have started to be used.

This paper presents the possibility to use phased array transducer for ultrasound examination of plates and I shaped beam from carbon epoxy quasi-isotropic and uniaxial composite materials. The method is used so for emphasizing the delaminations due to impacts and for artificial ones created by inserting carbon film between the plies of fibers.

2. Studied samples

Two types of quasi-isotropic CRFP have been taken into study:

A – plates with dimensions $12 \times 12 \text{ cm}^2$ and 5mm thickness containing 48 plies of carbon fibers pre-preg with distribution $[-45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ]_s$, impacted with 6J, 9J, 12J and 15J energy and in one of them controlled porosity has been created. The porosity content in the material is directly linked to the pressure applied during the curing. Tuning the pressure can then roughly control the volume void content. The lower is the applied pressure, the higher is the porosity rate. The manufacturing of materials with locally concentrated porosity has been achieved as follows [14]

- a few layers are stocked and cured with a modified pressure cycle (lower pressure), getting a thin material with distributed porosity

- fresh pre-pregs are then stocked on this pre-cooked material and the whole system is cured following the recommended cycle.

The 16 porous plies have been cooked without pressure in this particular case and the resulting porosity is about 10% in volume (measured by image analysis) in those plies.

B – plates with $9.5 \times 9.5 \text{ cm}^2$ and 2mm thickness containing 16 plies of carbon fiber with distribution $[-45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ]_s$ impacted with energy of 0.75J, 1.5J, 2.5J, 3J and 4J. The propagation speed of ultrasound compression wave was $3200 \pm 50 \text{ m/s}$, of shear waves was $1646 \pm 50 \text{ m/s}$ for a density of 1600 kg/m^3 .

Using the relations [15]

$$v = \frac{\frac{1}{2} - \left(\frac{c_t}{c_l}\right)^2}{1 - \left(\frac{c_t}{c_l}\right)^2} \quad (1)$$

$$G = \rho c_t ; E = 2g(1+v)$$

Au fost determinați: modulul lui Young ca fiind 11.35GPa, modulul de forfecare 4.3GPa și coeficientul Poisson 0.32.

3. Montajul experimental

Măsurătorile de ultrasunete au fost efectuate cu Phasor XS-General Electric, echipat cu software Phasor XS v1.2, care poate lucra atât în mod convențional (puls-ecou sau emisie - recepție) cat și în mod phased array. S-a ales o arie liniara de senzori cu 32 de elemente și pitch 0,5mm, lucrând la o frecvență centrală de 5MHz. Traductorul a fost montat pe un bloc de întârziere din plexyglass cu înălțimea de 20mm. Cuplarea a fost realizată cu gelul de cuplare ZG-F – General Electric.

Montajul experimental este prezentat în figura 1.

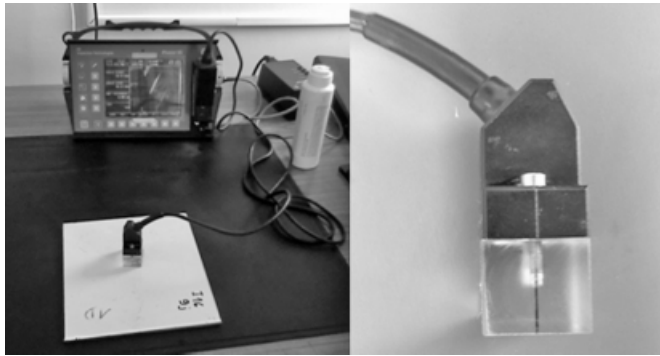


Figura 1. Montajul experimental/
Figure 1. Experimental set-up

Pentru determinarea vitezei de propagare longitudinală și transversală s-au utilizat traductorii G5KB-F pentru unde longitudinale având frecvența centrală 5MHz și MB4Y pentru unde transversale cu frecvența centrală 4MHZ.

4. Metoda de măsură

Uzual, traductorul phased array este fixat pe o pană, situație prezentată în figura 2 [16].

Echipamentul Phasor XS permite selecția domeniului pentru scanare unghiulară în termenii unghiurilor de refracție în material, după ce proprietățile acestuia au fost introduse în program.

Unghiul incident, α_i este determinat după legea Snell pentru un unghi refractat specificat.

$$\alpha_i = \arcsin\left(\frac{c_{edge} \sin \alpha_r}{c_{testpiece}}\right) \quad (2)$$

cu c_{wedge} și $c_{testpiece}$ reprezintă viteza de propagare a fascicolului de ultrasunete în pana din plexi ($c_{wedge}=2730m/s$) și respectiv placa de carbon epoxy ($c_{testpiece}=3200m/s$).

Înălțimea punctului virtual de emisie va fi

$$E_h = \left[H_1 + \frac{P}{2}(n-1) \right] \sin \omega \quad (3)$$

$$v = \frac{\frac{1}{2} - \left(\frac{c_t}{c_l}\right)^2}{1 - \left(\frac{c_t}{c_l}\right)^2} \quad (1)$$

$$G = \rho c_t ; E = 2g(1+v)$$

The Young modulus was determined as being 11.35GPa, shear modulus 4.3GPa and Poisson ratio 0.32.

3. Experimental set-up.

The US measurements were effectuated with Phasor XS-General Electric, equipped with the software Phasor XS version 1.2, which can work both in conventional mode (pulse-echo or emission-reception) as well as in phased array mode. A linear phased array type with 32 elements and a pitch of 0.5mm, working at 5MHz central frequency, was chosen. The phased array was mounted on a delay block with 20mm height made of plexyglass. The coupling was made using ultrasonic coupling gel ZG-F – General Electric.

The experimental set-up is presented in Figure 1.

For the determination of longitudinal and transversal propagation speed there were used transducers G5KB-F for longitudinal wave having central frequency 5MHz and the transducer MB4Y for transversal waves having central frequency 4MHz.

4. The measurement method

Usually, phased array transducer is fixed on a wedge, situation presented in Figure 2 [16].

The Phasor XS equipment allows the selection of the domain for the angular scan in terms of refracted angles in the examined material after that its properties were input in the program.

The incident angle α_i is determined after Snell law for a

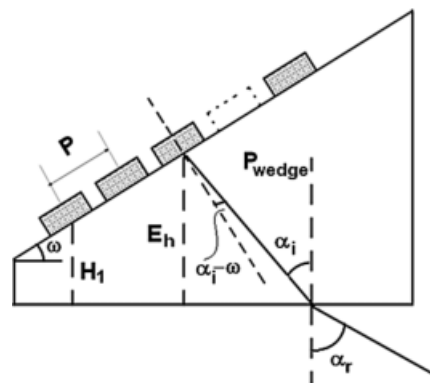


Figura 2. Traductorul phased array fixat pe muchie/
Figure 2. Phased array transducer on wedge

specified refracted angle

$$\alpha_i = \arcsin\left(\frac{c_{edge} \sin \alpha_r}{c_{testpiece}}\right) \quad (2)$$

where c_{wedge} and $c_{testpiece}$ represents the propagation speed of US beam in wedge made of Plexy ($c_{wedge}=2730m/s$) and respectively the plate of carbon epoxy ($c_{testpiece}=3200m/s$).

The height of the virtual emitting point will be

unde H_1 este înălțimea pe mijlocul primului element, P este pitch-ul elementului, n este numărul elementului din phased array, w este unghiul penei.

Drumul ultrasunetelor în pană este

$$P_{wedge} = \frac{E_h}{\cos \alpha_i} \quad (4)$$

Iar întârzierea penei D_w poate fi găsită ca

$$D_w = 2 \frac{P_{wedge}}{C_{wedge}} \quad (5)$$

Plasând traductorul pe o linie de întârziere, se obține situația prezentată în figura 3.

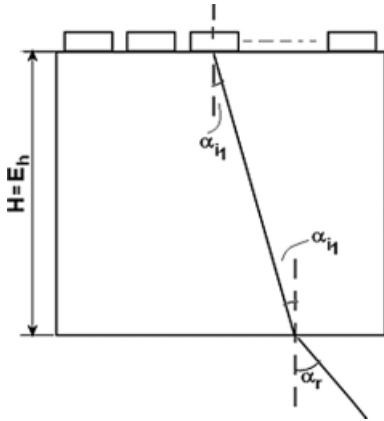


Figura 3. Traductorul pe o linie de întârziere/
Figure 3. Phased array transducer on a delay line

Dacă materialul din care este confecționată linia de întârziere este același cu cel din care este confecționată pană, iar materialul de examinat este același în ambele cazuri, pentru același unghi de refracție a_r , unghiul de incidență va fi același ca în cazul plasării phased array pe pană. Înălțimea punctului virtual de emisie va fi egală cu înălțimea liniei de întârziere H

$$E_H = H \quad (6)$$

Drumul ultrasunetelor P_1 , în linia de întârziere este

$$P_1 = \frac{H}{\cos \alpha_i} \quad (7)$$

iar întârzierea D_H poate fi găsită ca

$$D_H = 2 \frac{P_1}{C_{wedge}} \quad (8)$$

În cazul plasării traductorului pe o pană, apertura efectivă definită ca distanța de la suprafața materialului scanat de fascicolul de ultrasunete la poziția traductorului va fi

$$A_{eff_{wedge}} = A + P_{wedge_{max}} \sin \alpha_{i_{max}} - P_{wedge_{min}} \sin \alpha_{i_{min}} \quad (9)$$

și în cazul plasării pe o linie de întârziere

$$A_{eff_{delayline}} = A + D_H \sin \alpha_{i_{max}} - D_H \sin \alpha_{i_{min}} \quad (10)$$

unde $\alpha_{i_{max}}$ și $\alpha_{i_{min}}$ se calculează cu ajutorul relației (2) setând a_r pentru valorile $\alpha_{r_{max}}$ și $\alpha_{r_{min}}$ care se prescriu prin software care deservește echipamentul, iar $A=np$ reprezintă apertura. Echipamentul de control furnizează o imagine S scan a regiunii examinate precum și A scan pentru fiecare unghi prescris. Aceste

$$E_h = \left[H_1 + \frac{P}{2}(n-1) \right] \sin \omega \quad (3)$$

where H_1 is height in the middle of the first element, P is the element pitch, n is the number of phased array elements, w is the wedge angle.

The ultrasonic path, P , in the wedge is

$$P_{wedge} = \frac{E_h}{\cos \alpha_i} \quad (4)$$

and the wedge delay D_w can be found as

$$D_w = 2 \frac{P_{wedge}}{C_{wedge}} \quad (5)$$

Placing the phased array on a delay line, the situation presented in Figure 3 is obtained.

If the material of delay line is the same with the edge's one and the examined material is the same in the both cases (A and B) for the same refraction angle a_r , the incident angle will be the same as in the case of placing phased array on wedge. The height of virtual emitting point will be equal to the height of delay line H .

$$E_H = H \quad (6)$$

The ultrasonic path P_1 , in the delay line is

$$P_1 = \frac{H}{\cos \alpha_i} \quad (7)$$

and the delay D_H can be found as

$$D_H = 2 \frac{P_1}{C_{wedge}} \quad (8)$$

In the case of placing the phased array on a wedge, the effective aperture defined as the distance from the surface of the material scanned by the ultrasound beam to a position of the transducer will be

$$A_{eff_{wedge}} = A + P_{wedge_{max}} \sin \alpha_{i_{max}} - P_{wedge_{min}} \sin \alpha_{i_{min}} \quad (9)$$

and in the case of placing on delay line

$$A_{eff_{delayline}} = A + D_H \sin \alpha_{i_{max}} - D_H \sin \alpha_{i_{min}} \quad (10)$$

where $\alpha_{i_{max}}$ and $\alpha_{i_{min}}$ are calculated with eq. (2) setting a_r for $\alpha_{r_{max}}$ and $\alpha_{r_{min}}$ that are prescribed by the software of the equipment and $A=np$ represents the aperture. The control equipment delivers a S-scan of the examined region as well as A-scan for each prescribed angle. This information can be stored as JPG files on a flash memory card for a future processing. The jpg images are RGB type (red-green-blue) on 8bits and can be processed in different programs.

Matlab 7.0 have been used for processing and interpretation.

The first issue has consisted in the way in which the S-scan can be transformed in B-scan representation. Because the delay law [16] for phased array placed on wedge, given by eq. (5) is different from those of phased array placed on delay line, given by eq.(8), the required corrections have been made for the scanned angular sector. The RGB image is transformed in greyscale and then the values of the pixels are calculated after different angles, the origin of the coordinate system being

informații pot fi stocate ca imagini de tip *.jpg pe un memory card pentru o prelucrare ulterioară. Imaginile JPG sunt imagini de tip RGB (red, green, blue) pe 8 biți și pot fi prelucrate în diverse medii de programare.

Pentru prelucrare și interpretare s-a utilizat mediul de programare Matlab 7.0.



Figura 4. Raportul salvat pe memory card pentru o regiune bună de material compozit, 5 mm grosime, phased array plasat pe o linie de întârziere /

Figure 4. The report saved on the memory card at the control of a good region of the carbon epoxy composite with 5mm thickness, the phased array being placed on the delay line

Prima problema pusă a constat în modul în care o imagine S-scan poate fi transformată în reprezentare B scan. Deoarece legea de întârziere [16] pentru phased array plasat pe pană, dată de relația (5) diferă de legea de întârziere pentru phased array plasat pe o linie de întârziere, data de relația (8), s-au făcut corecțiile de rigoare pentru sectorul unghiular baleiat. Se transformă imaginea RGB în scară de gri și se calculează apoi valorile pixelilor după diverse unghiuri, originea sistemului de coordonate cartezian atașat fiind colțul din stânga sus a imaginii. Aceste reprezentări sunt A-scan corespunzătoare unghiurilor și, dispuse într-o matrice vor da B-scan.

În figura 4 prezentăm raportul salvat pe memory card la controlul unei regiuni bune a compozitului carbon epoxy cu

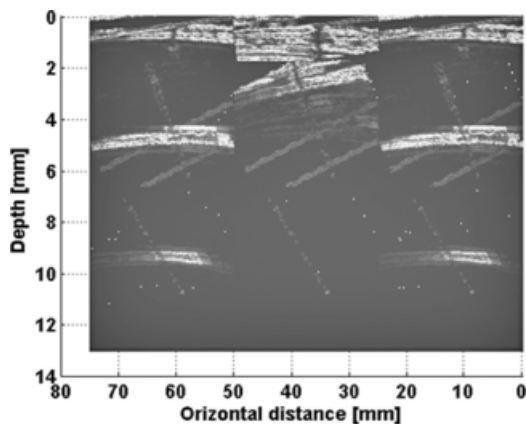


Figura 7. B-scan pentru o regiune cu delaminare/ Figure 7. The B-scan of a region with delamination

grosimea de 5mm, phased array fiind plasat pe o linie de întârziere. Imaginea care conține regiunea de interes (ROI) pe care au fost aplicate întârzierea și transformată în scară de gri este prezentată în figura 5. În figura 6 se prezintă V-scan-ul corespunzător obținut prin procedeul descris mai sus.

in the upper left corner of the image. These representations are A-scan, corresponding to the angles and disposed into a matrix will give B-scan.

In Figure 4 is presented the report saved on the memory card at the control of a good region of the carbon epoxy composite with 5mm thickness, the phased array being placed on the delay line.

The image that contains the region of interest (ROI) and on which the delay has been applied and was converted in greyscale is presented in Figure 5.

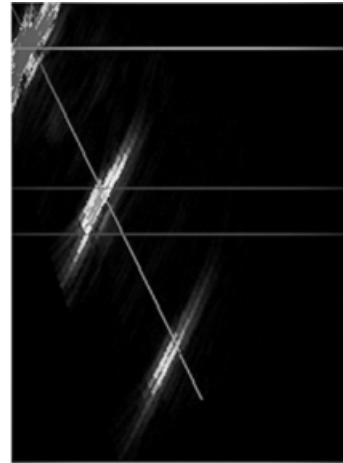


Figura 5. Imaginea procesată/ Figure 5. The processed image

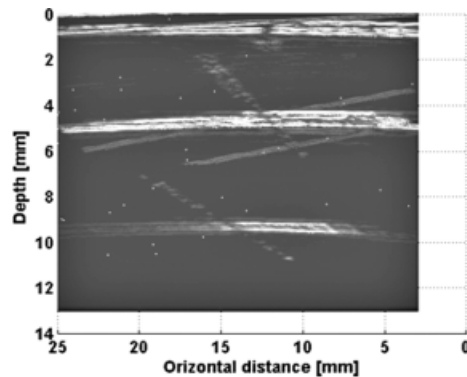


Figura 6. The B-scan/ Figure 6. The B-scan

In Figure 6 is presented the B-scan corresponding to the procedure described above

5. Experimental results

The plates of carbon epoxy composite that contain delaminations and porosity have been examined through the procedure previously described.

In Figure 7 is presented the B-scan of a region from the plate of carbon epoxy composite with 5mm thickness that presents a delamination due to an impact with 9J energy. Phased array was focussed so that the focal distance coincides with half of plate thickness.

In Figure 8 is presented the B-scan for a region of composite containing pores, the surface being focused in the same mode.

If, instead of displacing the array after a line and obtaining a B-scan, the array can scan a surface, in the same manner, the C-scan can be obtained.

In Figures 9a and b is presented the C-scan image of a

5. Rezultate experimentale

Prin procedurile descrise anterior au fost examinate plăci din compozite carbon epoxy ce conțin delaminări și porozități.

În Figura 7 se prezintă B-scan-ul unei regiuni din placa de 5mm grosime care prezintă o delaminare datorită impactului cu o energie de 9 J. Phased array a fost focalizat astfel încât distanța focală să coincidă cu jumătate din grosimea plăcii.

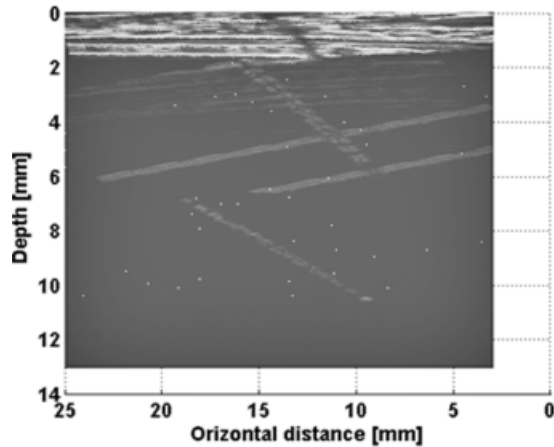


Figura 8. B-scan pentru regiune cu pori/
Figure 8. The B-scan of a region with porosity

În Figura 8 se prezintă B scan a unei regiuni din compozitul care conține pori, suprafața fiind focalizată în același mod.

Dacă, în loc să se deplaseze traductorul după o linie și să se obțină B scan, se poate scana o suprafață, în aceeași manieră, obținându-se C –scan.

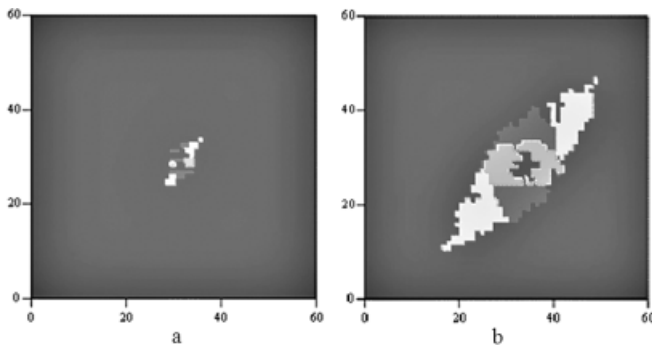


Figura 9. C-scan regiunii cu delaminare datorită impactului cu 1J (a) și respectiv 4 J (b)/
Figure 9. The C-scan of a region with delamination due to an impact with 1J (a) and respective 4 J (b)

În figurile 9 a și b se prezintă imaginea C-scan a unor delaminări a materialului compozit de 2mm grosime datorată impactului cu energie de 1j și respective de 4J.

Concluzii

Examinarea nedistructivă a compozitelor carbon epoxy poate fi efectuată utilizând traductori phased array montați pe o linie de întârziere.

Pentru a obține B-scan și C-scan este necesar ca imaginea S-scan furnizată de echipamentul de control să fie postprocesată într-o manieră convenabilă. Rezoluția axială se îmbunătățește dacă phased array este focalizat și focarul corespunde cu planul median al plăcii compozite.

delamination on carbon-epoxy plate with 2mm thickness impacted with 1 J energy and respectively for an impact with 4J energy.

Conclusions

The nondestructive examination of carbon-epoxy composites can be made using ultrasonic phased array transducer mounted on a delay line.

To obtain B-scan and C-scan it is necessary that the S-Scan image delivered by the equipment be processed in a convenient manner. The axial resolution is improved if the phased array is focused and the focal point corresponds to the middle plan of composite plate. The delaminations due impacts as well as the regions with porosity due to fabrication can be easily evaluated.

Acknowledgement

This paper is partially supported by the Romanian Ministry of Education and Research through the Research of Excellence Program under Contracts: 49/2006 ROLIGHT and National Plan II under project MODIS 71-016/2007.

Bibliografie/ References

- [1]. Morgan P.: *Carbon Fibers and Their Composites*, CRC Press, Boca Reton, 2005
- [2]. Sierakowski R.L., Chaturvedi S.K.: *Dynamic loading and characterization of fiber reinforced composites*, John Wiley&Sons Inc., NY, 1997
- [3]. Kessler S. S., Spearing S. M., Atalla M. J., Cesnik C. E. S. and Soutis C.: “*Damage Detection in Composite Materials Using Frequency Response Methods*”, *Composites Pt. B: Engineering*, 33, 1 (2002), p. 87-95
- [4]. Hou J.P., Jeronimidis G.: *Vibration of delaminated thin composite plates*. *Composites A* 30 (1999), pp. 989–995
- [5]. Plotnikov Y.A., Winfree W.P.: *Visualization of subsurface defects in composites using a focal plane array infrared camera*, *Proc. SPIE*, Vol. 3700, 1999, p.26-31.
- [6]. Ball R.J., Almond D.P.: *The detection and measurement of impact damage in thick carbon fibre reinforced laminates. by transient thermography*, *NDT&E International*, 31, 3, (1998), p. 165-173
- [7]. Tarnopol'skii M., Kulakov V.L.: *Tests methods for composites. Survey of investigations carried out*, *Mechanics of Composite Materials*, 37, 6, (2001), p. 431-448
- [8]. Grimberg R., Prémel D., Lemistre M., Balageas D., Placko D.: *Compared NDE of damages in graphite/epoxy composites by electromagnetic methods*, *Proceedings of the SPIE's*, Vol.4336, *Nondestructive Evaluation of Materials and Composites*; V.George&coll. Pater J.Shull Eds.(2001), 65-72
- [9]. Grimberg R., Prémel D., Savin A., Le Bihan Y., Placko D.: *Eddy Current Holography Evaluation of Delamination in Carbon-Epoxy Composites*, *INSIGHT* 43,4, UK,(2001), p. 260-264
- [10]. Grimberg R., Savin A., Rotundu C.: *Eddy Current Microscopy Applied to Graphite - Epoxy Composite*, *Sensors and Actuators A* (91), (2001), p. 73-75
- [11]. Aymerich F., Meili S.: *Ultrasonic evaluation of matrix damage in impacted composite laminates*, *Composites Part B: Engineering*, 31, 1, (2000), p. 1-6
- [12]. Gros X. E., Pecorari C.: *Ultrasonic and Microscopic Investigation of Impact Damage in GFRP Composites*, *Research in Nondestructive Evaluation*, 13, 1, (2001), p. 23-36
- [13]. Nageswaran C., Bird C.R., Takahashi R.: *Phased array*

Se poate evalua extrem de ușor atât delaminările ca urmare a impactelor cât și zonele cu porozități datorate procesului de fabricație.

Mulțumiri

Aceasta lucrare este parțial suportată de Ministerul Educației, Cercetării și Tineretului din România, în cadrul Programului PN II, proiect MODIS, contract 71-016/2007.

Lucrare prezentată la a 6-a conferință internațională "Integritatea structurală a construcțiilor sudate", Timișoara 5-6 noiembrie 2008.

scanning of artificial and impact damage in carbon fibre reinforced plastic (CFRP), INSIGHT, 48, 3, (2006), p. 155-159.

[14]. Dominguez N., Mascaro B.: *Ultrasonic NonDestructive Inspection of Localized Porosity in Composite Materials*, CD-ECNDT 2006

[15]. Krauthammer J., Krauthammer H.: *Ultrasonic Testing of Materials*, 4th ed. Springer-Verlag, Berlin, 1990

[16]. xxx: *Advances in Phased Array Ultrasonic Technology; Applications*, Olympus NDT, Waltham, MA, 2007

Paper presented at the 6th international conference „Structural integrity of welded structures”, Timișoara, Romania, November 5-6, 2008.



Asociația de Sudură din România

Conferința Internațională

Îmbinare și Microîmbinare Calitate și Eficiență



Drobeta Turnu Severin

30 septembrie - 02 octombrie 2009

www.asr.ro

Expo

Galvanizare,

Acoperiri Metalice,

Sudura 2009

10.03.2009-13.03.2009

Sala Palatului București

Organizator: Expo Media Congress Center

Contact: Mobil: 0722 667.773, tel/fax: 021 619 28 31, email: expocongresscenter@mail.com, expo1@salapalatului.ro

www.expocongres.ro



În data de 29 noiembrie 2008 s-a stins din viață la vârsta de 73 ani, **Prof. dr. ing. Gheorghe Zgură**, membru al Academiei de Științe Tehnice din România, Rector al Universității Politehnice București în perioada 1992-2000. A condus mulți ani Catedra Utilajul și Tehnologia Sudării din cadrul aceleiași universități.

S-a născut în comuna Făcăieni (Ialomița), la 24 septembrie 1935. După absolvirea Institutului Politehnic București în anul 1960, își pregătește teza de doctorat la Institutul Politehnic din Sankt Petersburg în domeniul dinamicii proceselor de prelucrare a metalelor prin așchiere. Se specializează ulterior în prelucrare mecanică și sudare.

A avut o bogată activitate didactică susținând cursuri de tehnologia sudării, tehnologia sudării prin topire, tehnologia materialelor, tehnologia prelucrării prin deformare plastică. S-a remarcat prin lucrările de cercetare realizate în domeniul utilajului și tehnologiilor de sudare, a prelucrării prin deformare plastică.

Prof. dr. ing. Gheorghe Zgură a făcut parte din Consiliul de Administrație al Asociației de Sudură din România (ASR).

Prin înaltul profesionalism, ținuta academică, devotamentul și modestia care l-au caracterizat, Prof. Gh. Zgură constituie un model de viață și activitate pentru toți cei care l-au cunoscut.

SUDAREA CONDUCTELOR DIN MATERIALE TERMOPLASTICE

TEHNOLOGII DE SUDARE

- Elaborarea și calificarea tehnologiilor de sudare
- Analiza compatibilității la sudare a componentelor din materiale disimilare
- Verificarea prin metode distructive și nedistructive a îmbinărilor sudate



ASISTENȚĂ TEHNICĂ

- Supravegherea lucrărilor de sudare la beneficiar și pe șantier
- Expertize tehnice
- Consultanță în alegerea procedeeelor și echipamentelor de sudare, respectiv la implementarea tehnologiilor de sudare

PERFEȚIONARE PROFESIONALĂ

- Formarea și specializarea personalului sudor pentru autorizare conform prescripțiilor tehnice ISCIR, ISIM fiind autorizat ca furnizor de formare profesională de către Consiliul Național de Formare Profesională a Adulților - CNFPA
- Formarea, calificarea și certificarea sudorilor conform standardelor europene - Sudor European pentru Materiale Termoplastice (EPW)
- Perfeționarea personalului de coordonare a sudării

