

CARACTERIZAREA ULTRASONORĂ A MATERIALELOR SUDATE DE TIP PVC

BINDILEU Iustina¹, LAZĂR Ioan Alexandru¹, BĂNICĂ Florența¹, ICOVOIU Andreea¹

Conducători științifici: ș.l.dr.ing. Ștefan Constantin PETRICEANU, s.l.dr.ing. Corneliu RONTESCU

REZUMAT: Acest articol identifică parametrii ultrasonori care sunt semnificativi în procesul de detectare a stării de integritate a materialului de tip PVC. A fost trecută în revistă mai întâi literatura de specialitate în vederea identificării valorilor țintă pentru parametrii acustici în cazul propagării undelor ultrasonore prin proba studiată. Au fost identificate principalele procedee de elaborare ale policlorurii de vinil, defectele specifice precum și manifestarea ultrasonografică a acestora. Sunt prezentate considerațiile teoretice privind ecuațiile de propagare a ultrasunetelor în eșantion în vederea creării unui model teoretic al îmbinării sudate cu parametrii acustici aferenți. A fost realizat apoi un plan experimental pentru determinarea stării de integritate a materialului îmbinat la diferite regimuri de sudare. La final a fost conceput și realizat un sistem semi-automat de control cu ultrasunete cu prezentare tip B Scan în vederea simplificării și eficientizării operației de control.

CUVINTE CHEIE: policlorură de vinil, undă, examinare.

1 INTRODUCERE

Caracterizarea ultrasonoră a materialelor de tip PVC (Curtu, 2012), presupune determinarea parametrilor acustici ai probei examinate, respectiv viteza de fază în material, atenuarea, coeficienții de reflexie și de transmitere parțială (la prima interfață în zona îmbinării) și globali (pentru întregul eșantion). Determinarea valorilor teoretice pentru materialul investigat permite compararea cu valorile măsurate și luarea deciziei cu privire la starea de integritatea a materialului de tip PVC îmbinat prin sudare.

Ca regulă generală caracterizarea ultrasonoră se realizează cu scopul de a detecta neconformitățile existente în materialul inspectat. Pentru proba studiată principalele tipuri de defecte care pot apărea sunt lipsa topirii materialelor, crearea unor sufluri de gaz în cusătura sudată, supratopire (degradarea polimerului), porozitate, pătrundere insuficientă, deformații ale materialului.

În literatura de specialitate există diferite studii focalizate unele pe metodele posibile de caracterizare ultrasonoră a eșantionului (Fidahoussen, 2012), în timp ce altele se ocupă de modelarea matematică a materialului prin metode de evaluare ultrasonoră (Truong Son Bui, 2014).

¹ Specializarea Ingineria și Managementul Calității, Facultatea IMST;
E-mail: iustina_raluca@yahoo.com;

Materialul investigat, policlorura de vinil cu numele prescurtat PVC este o substanță din categoria materialelor termoplastice cu o structură amorfă.

Policlorura de vinil se realizează prin polimerizarea (legarea) monomerilor de clorură de vinil ($\text{CH}_2 = \text{CHCl}$) (Laurea Augier, 2008).

Materialele din PVC prezintă următoarele avantaje: sunt durabile, sunt rezistente la atac chimic, sunt ușor de prelucrat (deformabilitate termică bună, sudabilitate bună), sunt reciclabile, și ieftine.

Procedul prin care pot fi prelucrate materialele de tip PVC sunt : deformarea plastică sub acțiunea temperaturii, prelucrare prin așchiere și sudare. Pentru procedeul tehnologic de sudare literatura de specialitate prezintă mai multe metode de la cele specifice domeniului medical (citare Welding 1), trecând prin metodele speciale de sudare la înaltă frecvență (Welding 2) până la metodele clasice de sudare: cu ultrasunete, prin frecare, prin vibrație, cu gaze încălzite, cu element încălzitor, element rezistiv.

2 CONSIDERENTE TEORETICE ALE EVALUĂRII CU ULTRASUNETE ALE MATERIALULUI DE TIP PVC

2.1 Tipuri de unde

Unda ultrasonoră reprezintă o perturbație mecanică ce se propagă într-un mediu elastic și care este

CARACTERIZAREA ULTRASONORĂ A MATERIALELOR SUDATE DE TIP PVC

însoțită de transport de energie (energie acustică, presiune acustică).

După natura perturbației și modul de propagare al acestora, putem clasifica undele în :

- Unde longitudinale, pentru care direcția de propagare a undei coincide cu direcția de oscilație și se propagă în toate tipurile de medii.

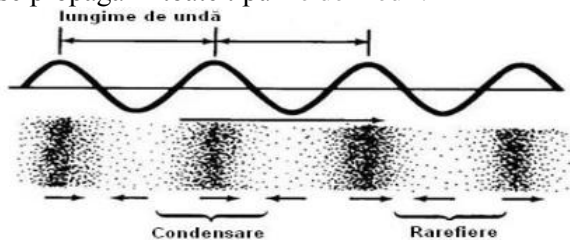


Fig.1 Propagarea unei longitudinale

- Unde transversale, pentru care direcția de propagare a undei este perpendiculară pe direcția de oscilație. Ele nu pot exista decât în medii solide.

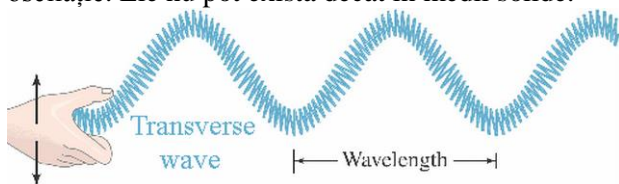


Fig.2 Propagarea unei transversale

2.2 Caracteristicile undelor

Principalele caracteristici ale undelor ultrasonore care sunt importante în evaluarea ultrasonoră a materialelor sunt:

- Frecvența undelor ultrasonore – se notează cu ν și reprezintă numărul de oscilații pe secundă. Frecvența se măsoară în hertz, Hz.
- Viteza de fază de propagare a undelor ultrasonore se notează cu c și reprezintă viteza de propagare a unei monocromatice elastice prin material.
- Lungimea de undă a ultrasunetelor, se notează λ și reprezintă drumul parcurs de undă în timp de o perioadă, T .

2.3 Metoda puls-ecou

Metoda puls-ecou constă în emiterea unui fascicul de unde plane coerente, de caracteristici cunoscute, și recepționarea componentelor reflectate.

Pentru emisie și recepție se va utiliza același element și anume un transductor (care va lucra în regim de emițător - receptor). Acest element este compus dintr-o placă de ceramică piezoelectrică având proprietatea de a se deforma sub acțiunea unei tensiuni electrice de excitație, atunci când lucrează în regim de emițător și invers de a genera o

diferență de potențial dacă este supus acțiunii unei deformații mecanice, când lucrează ca receptor.

Problema transmiterii ultrasunetelor prin interiorul materialului nu este deloc simplă deoarece comportă câteva fenomene fără de care nu se pot înregistra rezultate concludente în urma operației de control. În primul rând este vorba de existența unui fluid de cuplaj corespunzător, pentru o mai bună transmitere a energiei în interiorul materialului, iar pe de altă parte de alegerea cât mai corectă posibil a lungimii de undă cu care se va lucra (respectiv a frecvenței $= \nu T$) pentru a detecta defecte de o dimensiune dată.

La propagarea prin material, se pot produce următoarele fenomene principale: atenuarea cauzată de trecerea prin material, reflexia și transmisia pe interfața de separare (dioptru acustic).

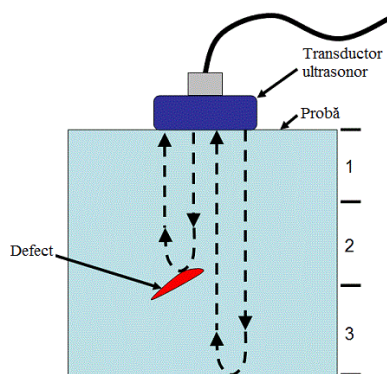


Fig. 3 Emisia/Recepția undelor

Caracteristicile materialului studiat, dar și gama de frecvențe utilizată se plasează în domeniul plăcilor groase, suficient de mari pentru a permite separarea ecorilor reflectate pe interfața materialelor.

Se va considera o undă plană longitudinală care întâlnește în incidență normală o placă îngroșată de grosime L , având viteza de undă c .

O parte din această undă este reflectată pe suprafața superioară S a plăcii, iar restul suferă o serie de transmisii și de reflexii cum arată figura numărul 4.

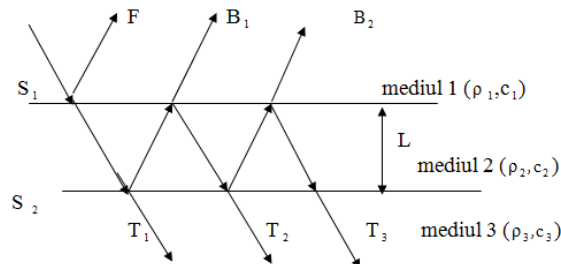


Fig. 4 Transmisii și reflexii ale undelor

2.4 Moduri de prezentare a rezultatelor

“A – scan” reprezintă un mod de vizualizare a rezultatelor evaluării cu ultrasunete a materialelor în care pe abscisă sunt prezentate “timpul de zbor” (microsecunde) al undei sau distanța (mm), iar pe ordonată se regăsește amplitudinea ecourilor. Este o examinare care se realizează într-un singur punct al probei.

“B – scan” este modul de prezentare în care măsurarea parametrilor acustici se face după o linie pe suprafața eșantionului, iar rezultatele sunt prezentate în coordonate secțiune normală prin piesa pe direcția de examinare amplitudine undă. “C – scan” este un mod de prezentare în care evaluarea se face în plan după cele două direcții x, y la suprafața probei, transductorul deplasându-se automat cu ajutorul unui motor pas cu pas cu un increment stabilit de operator. Rezultatele sunt prezentate în coordonate plane (suprafața piesei) – amplitudine (fig 5).

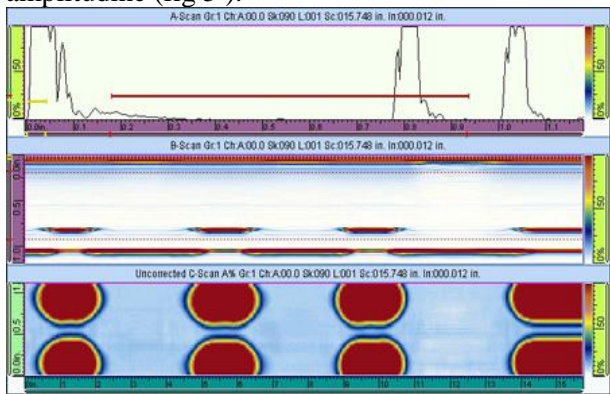


Fig.5 A-scan; B-scan; C-scan

2.5 Cuantificarea parametrilor ultraacustici

Examinarea cu ultrasunete se bazează pe propagarea undelor ultrasonice în piesa de examinat și monitorizarea semnalului transmis sau a semnalului reflectat provenit de la o discontinuitate.

Aceasta se poate efectua manual sau cu ajutorul unei aparaturi semi-automatizate și poate utiliza tehnica prin contact direct, fără contact sau în imersie, folosind metode corespunzătoare de cuplare.

Cuantificarea parametrilor ultraacustici se realizează prin introducerea în eșantion a unei unde ultrasonore de caracteristici cunoscute (amplitudine, frecvența, viteza de fază) și evaluarea modificării acestora după propagarea prin materialul probei.

Vizualizarea rezultatelor se realizează pe un ecran în două tipuri de prezentare A- scan (examinare punctiformă pe grosimea materialului în coordonate amplitudine-grosime și lungime probă) și B-scan (examinare liniară pe circumferință în coordonate amplitudine-grosime și lungime probă).

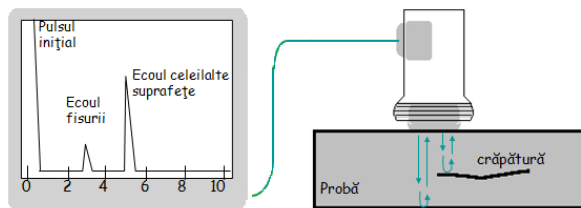


Fig. 6 Examinarea cu ultrasunete

3 MODELUL TEORETIC DE REFERINȚĂ

Pentru a putea realiza optimizarea procedurii de sudare a materialelor de tip PVC, trebuie ca mai întâi să fie cunoscut modelul teoretic de referință al unei îmbinări fără defect. Acesta este necesar deoarece fiecare nou rezultat obținut prin varierea parametrilor de sudare trebuie comparat cu imaginea ultrasonoră etalon a îmbinării fără defect. Parametrii acustici care au fost urmăriți experimental au fost calculați teoretic pe baza ecuațiilor de propagare a undelor ultrasonore în material.

Relațiile de calcul care au fost utilizate pentru calcularea amplitudinilor teoretice pe fiecare interfață sunt:

$$R_{ij} = \frac{Z_j - Z_i}{Z_j + Z_i}, \quad (1) \text{ coeficientul de reflexie la}$$

interfața ij în incidență normală la suprafață;

$$T_{ij} = \frac{2Z_i}{Z_j + Z_i}, \quad (2) \text{ coeficientul de transmisie la}$$

interfața ij în incidență normală la suprafață;

Unde: $Z = \rho_i c_i$ – reprezintă impedanța acustică a mediului. ρ densitatea
 c viteza de undă

Dacă mărimea fizică luată în considerare este amplitudinea undelor, atunci pentru interfața dintre două medii cu impedanțe acustice diferite 1 și 2, expresia acestor coeficienți îmbracă forma:

$$R_{12} = \frac{A_1^R}{A_1^I} \quad (3)$$

$$T_{12} = \frac{A_2^T}{A_1^I} \quad (4)$$

unde:

A_1^R – reprezintă amplitudinea acustică reflectată pe interfața 1-2;

A_1^I reprezintă amplitudinea acustică a undei incidente;

CARACTERIZAREA ULTRASONORĂ A MATERIALELOR SUDATE DE TIP PVC

A_2^T reprezintă amplitudinea acustică a unei transmise la interfața 1-2;

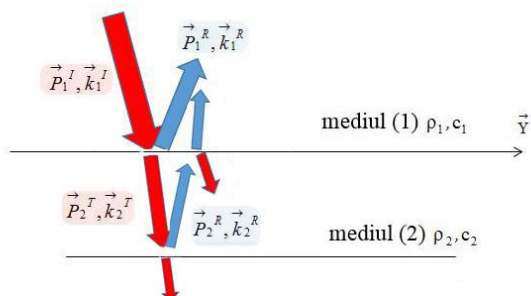


Fig. 7 Modul de propagare al undelor

Schema de control utilizata pentru determinarea vitezei de fază specifice materialului examinat se prezinta în figura numărul 8.

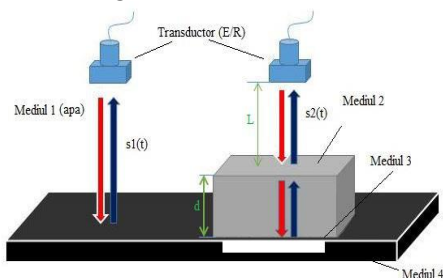


Fig.8 Schema de control cu US

Metoda constă în achiziționarea a trei semnale și apoi determinarea cu ajutorul acestora a vitezei de fază și/sau a grosimii eșantionului.

Montajul este realizat prin inversarea probei într-o cuvă cu lichid și crearea în spatele acesteia (mediul 3) a unui strat de aer suficient de gros (minim 10 mm).

Tehnica presupune de asemenea înregistrarea a trei semnale astfel: un semnal de referință $s_1(t)$, la frecvența de lucru, fără eșantion, un semnal cu eșantion $s_2(t)$, reflectat pe prima interfață a probei și un semnal $s_3(t)$ reflectat pe interfața dintre probă și aer (dintre mediile 3 și 4).

Primul semnal poate descrie câmpul acustic creat printr-o ecuație de forma:

$$s_1(t) = R_{14} \cdot \exp(\omega t - 2k_1(L + d)) \quad (5)$$

unde: $s(t)$ reprezintă câmpul acustic la momentul t în orice punct al spațiului;

R_{14} este coeficientul de reflexie la interfața mediul 1 – mediul 4;

ω este pulsația unei ($\omega = 2\pi f$);

t reprezintă timpul;

k_1 este numărul de undă $k_1 = \omega/c_1$;

c_1 este viteza de fază a undelor în mediul 1 (apă);

suma $L + d$ reprezintă distanța până la probă;

Al doilea semnal $s_2(t)$ va avea relația:

$$s_2(t) = R_{12} \cdot \exp(\omega t - 2k_2L) \quad (6)$$

Semnalul $s_2(t)$ corespunzător reflexiei pe interfața 3-4 se scrie în funcție de coeficientul de reflexie pe această interfață, care la rândul său este produsul celor doi coeficienți de transmitere T_{12} și T_{21} , adică:

$$s_3(t) = -T_{12}T_{21} \cdot \exp(\omega t - 2k_2(L + d)) \quad (7)$$

Semnul minus provine din faptul că ultima interfață fiind aerul (putând fi aproximat cu vidul în acest caz), coeficientul de reflexie $R_{23} = -1$, adică se produce o lovire a corzii vibrante de un perete perfect rigid, în urma căreia va avea loc o schimbare a fazei semnalului reflectat cu $\Phi = \pi$.

Deci amplitudinea unei înregistrate de transductor va fi, într-o bună aproximare, dată de coeficienții de transmitere bidirecționali la interfața 2-3.

Timpul de “zbor” al unei acustice corespunzătoare fiecărui ecou vor fi t_1, t_2 și respectiv t_3 .

După simplificări și aranjări convenabile, rezultă un sistem de ecuații de forma.

$$\begin{cases} t_1 = \frac{2(L + d)}{c_1} \\ t_2 = \frac{2L}{c_1} \\ t_3 = \frac{2L}{c_1} + \frac{2d}{c_2} \end{cases} \quad (8)$$

unde:

Distanțele L și d au semnificația din figura 8.

c_1 și c_2 sunt vitezele de fază în mediile 1 (apă) și 2 (probă);

$$t_1 = \frac{2 \cdot (20 + 8,1)}{1450} \cdot 10^{-3} = 38 [\mu s] \quad (9)$$

$$t_2 = \frac{2 \cdot 20}{1450} \cdot 10^{-3} = 28 [\mu s] \quad (10)$$

$$t_3 = \frac{2 \cdot 8,1}{2255} \cdot 10^{-3} = 7,1 [\mu s] \quad (11)$$

$$c_2 = c_1 \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_2} = 2418 [m/s] \quad (12)$$

Pentru calcularea coeficientului de atenuare a fost utilizată relația:

$$A_i = A_0 \exp(-\alpha x) \quad (13)$$

Unde: A_i este amplitudinea teoretică a undei la interfața situată la interiorul țevii sudate;

A_0 reprezintă amplitudinea undei incidente;

α este atenuarea undei în material;

$$\alpha_t = \frac{\lg \frac{A_i}{A_0}}{x} \quad (14)$$

Diferența dintre cele două valori a fost exprimată procentual conform relației:

$$E_{\alpha m} = \frac{\alpha_s - \alpha_t}{\alpha_t} \cdot 100[\%] \quad (15)$$

4 PREZENTAREA REZULTATELOR

Probele din PVC pe care s-a lucrat au fost de tip țevi îmbinate prin sudare cu element încălzitor exterior. Au fost realizate 12 probe la diferiți parametri de sudare, limitele maxime și minime ale acestora fiind stabilite din literatura de specialitate (tabelul 1).

Tabelul 1

Nr. proba	Temperatura	Timpul de menținere	Forța de presare [N]
1.	200	8	30
2.	200	8	50
3.	200	12	30
4.	200	12	50
5.	250	8	30
6.	250	8	50
7.	250	12	30
8.	250	12	50
9.	300	8	30
10.	300	8	50
11.	300	12	30
12.	300	12	50

Măsurarea parametrilor acustici s-a făcut pentru fiecare probă în 6 puncte situate la 60° începând cu 15° în sens trigonometric de la bavura longitudinală a piesei cuprinzătoare-bucșa (vezi tabelul nr.2 din ANEXA 1).

Aparatul de măsură utilizat a fost OLYMPUS OMNISCAN MX, iar determinările s-au realizat în laboratorul S.C NAMICON TESTING S.R.L și în laboratoarele Departamentului Tehnologia Materialelor și Sudare (vezi fig. 9)

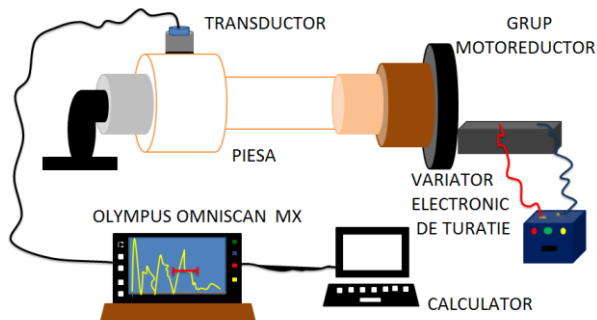


Fig.9 – Instalația experimentală

Au fost utilizate unde longitudinale la două frecvențe de lucru: 2 MHz și 13 MHz.

Din compararea rezultatelor obținute pentru cele două frecvențe de lucru se observă că mărimile parametrilor acustici care se apropie cel mai mult ca medie de valorile determinate pe baza modelului teoretic sunt cele pentru frecvența de 13 MHz.

Pe baza determinărilor a fost calculat coeficientul de atenuare experimental mediu pentru fiecare probă și a fost comparat cu valoarea teoretică rezultată din calcule (vezi figura 10).

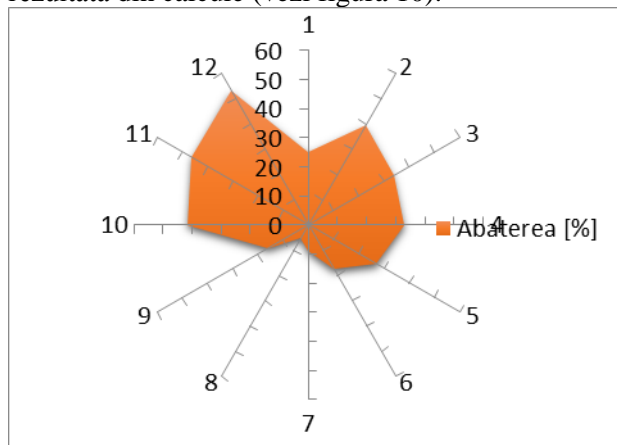


Fig. 10 Coeficientul de atenuare

Din grafic se poate decela faptul că valoarea minimă a mediei coeficientului de atenuare măsurat în cele 6 puncte ale fiecărei probe este pentru proba

Abaterea de la valoarea teoretică a mediei coeficientului acustic de atenuare determinat experimental este detaliat în ANEXA2.

Se observă că abaterea cea mai mică a fost pentru proba 8.

Proba 8 a fost examinată apoi din 10° în 10° pentru fiecare măsurătoare determinându-se coeficientul de atenuare experimental. Studiarea variației acestui parametru pe circumferința probei va oferi indicații asupra omogenității îmbinării sudate.

În figura 10 se prezintă evoluția acestui coeficient în coordonate polare.

CARACTERIZAREA ULTRASONORĂ A MATERIALELOR SUDATE DE TIP PVC

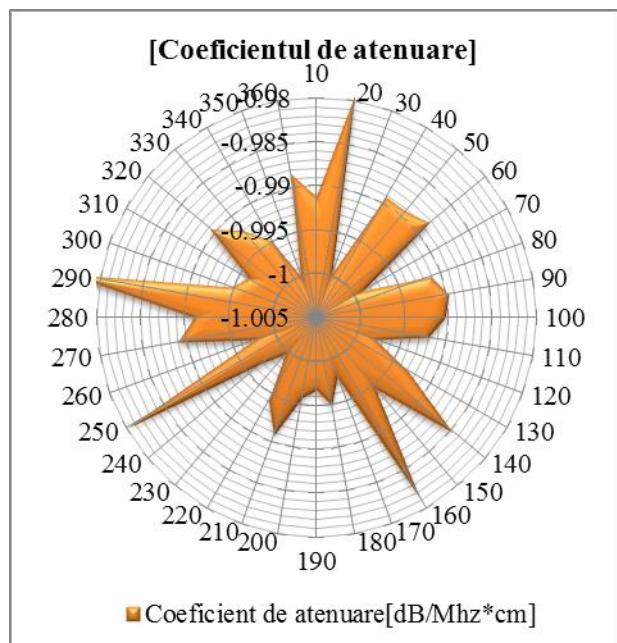


Fig. 11 Coeficient de atenuare

Se observă că amplitudinea variației coeficientului de atenuare pe circumferința probei, exprimată în procente este de 2,42 %. Variația foarte mică, a acestui parametru arată că îmbinarea sudată este realizată uniform.

Pe standul semi-automatizat creat au fost efectuate câte 6 măsurători pentru proba 8 (îmbinată optim) în sistem, A-SCAN și B-SCAN. Au fost calculate valorile pentru coeficientul de atenuare din 10° în 10° iar apoi au fost comparate rezultatele obținute între ele. S-a testat astfel fezabilitatea standului și reproductibilitatea măsurătorilor efectuate.

În figura 12 se prezintă imaginea în mod de prezentare B-scan a probei 8.

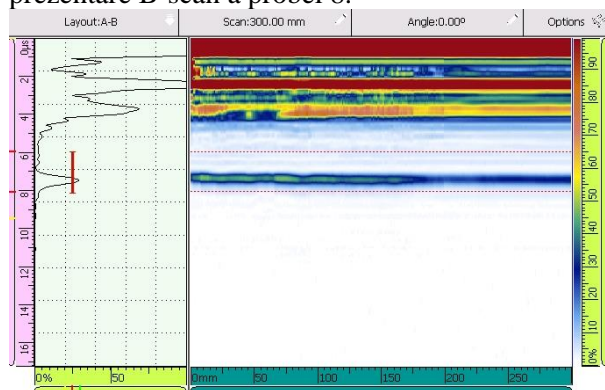


Fig. 12 – Oscilograma B-scan proba 8

5 CONCLUZII

În urma studiului prin caracterizarea ultrasonoră a materialelor sudate de tip PVC s-au putut extrage concluzii pertinente cu privire la calitatea îmbinării

probelor. S-a identificat proba 8 ca având cele mai bune proprietăți de transmitere a parametrilor ultrasonori și pe cale de consecință calitatea îmbinării sudate este cea mai bună. A fost deasemenea dovedită fezabilitatea bancului semi-automatizat de probă prin studiul statistic al valorilor parametrilor acustici măsurati pentru aceeași probă în 6 determinări experimentale independente.

6 MULȚUMIRI

Mulțumim colegilor Octav Teodorescu, Elena Lascu, Andreea Andriescu și Florina Ilinca.

7 BIBLIOGRAFIE

- [1]. M. D. Stanciu, I. Curtu, V. Ciofoaia, R. Grimberg (2012), "Evaluarea nedistructivă a coeficientului de atenuare acutică al materialelor compozite prin metoda ultrasunetelor", 6.
- [2]. M.L Aguiere (2008) „Etude de l'élaboration de matériaux composites PVC/bois à partir de déchets de menuiserie : formulation, caractérisation, durabilité et recyclabilité”, 241.
- [3]. F.Lepiller, J.Hatsch, Y.Guedra (2009), “ Controle non destructif de structures composites a composites a geometrie complexe par ultarsons jet d'eau”, 10.
- [4]. T .S. Bui (2014), “ Caracterisation et modelisation de l'endommagement des geomateriaux par methode ultrasonore ”, 163.
- [5]. A. Fidahoussen (2012) „Sciences et Technologies de l'Information des Télécommunications et des Systèmes”20