

Attention Microfiche User,

The original document from which this microfiche was made was found to contain some imperfection or imperfections that reduce full comprehension of some of the text despite the good technical quality of the microfiche itself. The imperfections may be:

- missing or illegible pages/figures
- wrong pagination
- poor overall printing quality, etc.

We normally refuse to microfiche such a document and request a replacement document (or pages) from the National INIS Centre concerned. However, our experience shows that many months pass before such documents are replaced. Sometimes the Centre is not able to supply a better copy or, in some cases, the pages that were supposed to be missing correspond to a wrong pagination only. We feel that it is better to proceed with distributing the microfiche made of these documents than to withhold them till the imperfections are removed. If the removals are subsequently made then replacement microfiche can be issued. In line with this approach then, our specific practice for microfiching documents with imperfections is as follows:

1. A microfiche of an imperfect document will be marked with a special symbol (black circle) on the left of the title. This symbol will appear on all masters and copies of the document (1st fiche and trailer fiches) even if the imperfection is on one fiche of the report only.
2. If imperfection is not too general the reason will be specified on a sheet such as this, in the space below.
3. The microfiche will be considered as temporary, but sold at the normal price. Replacements, if they can be issued, will be available for purchase at the regular price.
4. A new document will be requested from the supplying Centre.
5. If the Centre can supply the necessary pages/document a new master fiche will be made to permit production of any replacement microfiche that may be requested.

---

The original document from which this microfiche has been prepared has these imperfections:

- missing ~~pages~~ pages/figures numbered: 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 not included in document.
- wrong pagination
- poor overall printing quality
- combinations of the above
- other

INIS Clearinghouse  
IAEA  
P. O. Box 100  
A-1400, Vienna, Austria

COMITETUL DE STAT PENTRU ENERGIA NUCLEARĂ  
INSTITUTUL DE REACTORI NUCLEARI ENERGETICI

VASILIU STĂNICĂ

CONTRIBUȚII LA APLICAȚIILE ULTRASUNETELOR ÎN  
CONTROLUL NEDISTRUCTIV AL MATERIALELOR FOLOSITE ÎN  
TEHNOLOGIA NUCLEARĂ

- REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT -

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC

Dr. S. RĂPEANU

Director Adj. Științific  
IRNE

BUCUREȘTI

- 1979 -

## C U P R I N S

### I. INTRODUCERE

1.1. Stadiul actual al controlului nedistructiv cu ultrasunete în domeniul fabricării elementelor combustibile nucleare

### II. STUDIUL TEHNICII PRIN IMERSIE APLICATĂ LA CONTROLUL NEDISTRUCTIV CU ULTRASUNETE

- 2.1. Condițiile experimentale necesare detectării defectelor din tuburi pentru teci de elemente combustibile nucleare: 2.1.1. Propagarea undelor în tuburi cu diametre mici și pereți subțiri; 2.1.2. Parametrii de funcționare a aparatului ultrasonore și a instalației de control tuburi cu diametre cuprinse între 5 și 20 mm.
- 2.2. Confecționarea tuburilor cu defecte artificiale etalon. 2.2.1. Metode de obținere a defectelor artificiale; 2.2.2. Verificarea pe cale metalografică a formelor și dimensiunilor defectelor artificiale; 2.2.3. Rezultate experimentale obținute la propagarea ultrasunetelor în tuburi cu defecte artificiale etalon
- 2.3. Aplicarea undelor Lamb la controlul nedistructiv al tuburilor cu pereți subțiri. 2.3.1. Ecuațiile undelor Lamb, simetrice și asimetrice, și metoda de rezolvare cu ajutorul unui program de calcul rulat pe un calculator IBM; 2.3.2. Teste efectuate pe plăci și tuburi cu pereți subțiri
- 2.4. Dispozitiv de selectare în clase de calitate folosit în controlul nedistructiv cu ultrasunete. 2.4.1. Principiul de funcționare; 2.4.2. Descrierea dispozitivului cu trei canale de clasificare a defectelor detectate în funcție de mărimea și numărul lor; 2.4.3. Rezultate experimentale
- 2.5. Instalație pentru controlul nedistructiv al cordonului de sudură dintre dopul și teaca elementelor combustibile. 2.5.1. Descrierea instalației și principiul de funcționare; 2.5.2. Rezultate experimentale

- 2.6. Instalație pentru studierea câmpului traductorilor ultrasonori. 2.6.1. Descrierea constructivă și principiul de funcționare; 2.6.2. Teste efectuate asupra traductorilor ultrasonori

### III. STUDIUL APLICĂRII ULTRASUNETELOR ÎN TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A URANIULUI

- 3.1. Instalație și metodă pentru determinarea limitei de separare a două lichide nemiscibile. 3.1.1. Descrierea instalației; 3.1.2. Principiul de funcționare; 3.1.3. Testarea instalației în fluxul tehnologic de extracție a uraniului
- 3.2. Determinarea și înregistrarea vitezei de sedimentare a unui solid aflat în suspensie într-un lichid. 3.2.1. Rezultate experimentale

### IV. CONCLUZII

#### BIBLIOGRAFIE

#### ANEXA

## I. INTRODUCERE

În vederea introducerii energeticii nucleare în țara noastră, eforturile din etapa actuală sînt canalizate prioritar către realizarea elementelor combustibile nucleare, a căror calitate este controlată prin diverse metode de control nedistructiv înainte de a fi introduse în reactor.

Lucrarea de față răspunde acestei probleme prin prezentarea unor tehnici de control nedistructiv cu ultrasunete și a unor instalații și dispozitive proiectate și realizate de autor, atât în scopul efectuării unui control de calitate rapid și eficient, cît și în scopul evitării importului, prin autototare. Astfel, în capitolul II sînt descrise aplicarea undelor Lamb la controlul tuburilor cu pereți subțiri, folosite ca teci de elemente combustibile, împreună cu programul de calcul rulat pe un calculator IBM necesar rezolvării ecuațiilor acestui tip de unde; metodele de uzinare a defectelor artificiale necesare realizării tuburilor etalon; dispozitivul electronic de selectare în clase de calitate a tuburilor pentru teci de elemente combustibile nucleare, cu aplicații și în alte domenii ale controlului de calitate; instalația pentru studierea și înregistrarea formei cîmpului transductorilor ultrasonori; instalația semiautomată de control a cordonului de sudură dintre dopul și teaca elementului combustibil.

În capitolul III este descrisă aplicarea ultrasunetelor în tehnologia de prelucrare a uraniului, prin prezentarea metodelor și dispozitivelor realizate de autor în vederea determinării și înregistrării automate a limitei de separare a două lichide nemiscibile precum și a vitezei de sedimentare a unui solid aflat în suspensie într-un lichid, metode și dispozitive apte de a fi aplicate și în alte ramuri ale industriei chimice.

Concluziile lucrării rezumă rezultatele și realizările obținute prin aplicarea controlului nedistructiv cu ultrasunete la fabricarea elementelor combustibile nucleare.

1.1. Stadiul actual al controlului nedistructiv cu ultrasunete în domeniul fabricării elementelor combustibile nucleare

În componența unui reactor nuclear intră un număr impresionant de tuburi de forță și tuburi pentru teci de elemente combustibile. Cele mai multe tuburi se găsesc în regiuni critice, cu una sau ambele fețe ale pereților supuse unei atmosfere puternic corozivă, cu gradienti mari de temperatură și fluxuri puternice de neutroni.

Datorită consecințelor dezastruoase în cazul unui accident provocat de existența unor defecte din teaca elementului combustibil, uneori de dimensiuni foarte mici, tuburile folosite ca teci sînt controlate în proporție de 100% prin metoda de control nedistructiv cu ultrasunete, pe instalații semiautomate sau automate, a căror cadență de lucru atîng 10 m liniari tub controlat pe minut /9/, /12/.

Perfecționarea generatorilor și traductorilor ultrasonori a permis ca defecte foarte mici, de ordinul a 20-30  $\mu\text{m}$  adîncime, să fie puse în evidență cu certitudine, iar valorile dimensionale ale grosimii și diametrului exterior și interior să fie măsurate cu o precizie de  $\pm 3 \mu\text{m}$ .

Deși nu toate dificultățile au fost înlăturate la controlul cordoanelor de sudură dintre dopul și teaca elementului combustibil, s-a reușit cu diverse tehnici de control aplicate atît în funcție de geometria dopului cît și a poziției și dimensiunilor cordonului, să fie puse în evidență defecte de tipul: neaderări, goluri, incluziuni, cu diametre de 0,2 mm, dimensiuni ajunse la limita inferioară și în cazul controlului efectuat cu raze X. /32/, /33/.

Combustibilul nuclear aflat sub formă de pastile de bioxid de uraniu este controlat statistic, prin tehnica imersiei sau prin contact, pentru detectarea defectelor apărute în timpul presării sau sinterizării cu diametre mai mari de 2 mm, în vederea caracterizării loturilor elaborate din pulberi cu proprietăți diferite. /37/, /40/, /41/.

Automatizarea controlului nedistructiv cu ultrasunete a permis introducerea sa în fluxul tehnologic în diferite stadii ale fabricației elementelor combustibile nucleare, impunînd modifica-

rea tehnologiei în cazul în care produsele nu sînt conforme cu specificațiile de control.

## II. STUDIUL TEHNICII PRIN IMERSIE APLICATA LA CONTROLUL NEDISTRUCTIV CU ULTRASUNETE

Controlul nedistructiv cu ultrasunete utilizează din ce în ce mai mult tehnica prin imersie, mai ales în controlul de serie, înlocuind practic tehnica prin contact, datorită următoarelor avantaje:

- înlătură variațiile de cuplaj dintre traductorul ultrasonor și materialul controlat;
- evită uzura suprafeței de emisie a traductorului;
- permite efectuarea unui control automat pe o instalație cu o cadență de lucru ridicată;
- permite folosirea traductorilor focalizați;
- se poate alege orice unghi de incidență a fasciculului ultrasonor, astfel încît energia ultrasonoră emisă în mediul de cuplare sub forma unei unde longitudinale să se propage în material sub forma unei unde longitudinale, transversale, de suprafață sau Lamb.

### 2.1. Condițiile experimentale necesare detectării defectelor din tuburi pentru teci de elemente combustibile nucleare

#### 2.1.1. Propagarea undelor în tuburi cu diametre mici și pereți subțiri

În majoritatea cazurilor, în controlul nedistructiv al tuburilor pentru teci de elemente combustibile, unghiul de incidență a fasciculului ultrasonor se alege între primul și al doilea unghi critic, astfel ca undele propagate să fie unde transversale /45/, (fig.3). În peretele tubului undele se reflectă succesiv între suprafața exterioară și interioară (fig.9 și 10 din lucrare) cu o energie din ce în ce mai mică pînă la atenuarea lor completă. Existența unui defect în peretele tubului va crea o reflexie a undelor în sens contrar, către traductorul care funcționează atât ca emițător cît și ca receptor, obținîndu-se pe ecranul generatorului un semnal de amplitudine proporțională cu mărimea proiecției suprafeței defectului normală la direcția fasciculului.

## 2.2. Confecționarea tuburilor cu defecte artificiale etalon

Alegerea parametrilor de control în vederea detectării defectelor periculoase din pereții tuburilor folosite ca teci de elemente combustibile, precum și verificarea în timp a reproductibilității rezultatelor, se face cu ajutorul unor tuburi cu defecte artificiale numite tuburi etalon. Cele mai uzuale forme de defecte artificiale etalon sînt în formă de fantă, cu secțiunea în V sau U, unele orientate în lungul unei generatoare, numite defecte longitudinale, altele perpendicular pe ea, numite transversale.

### 2.2.1. Metode de obținere a defectelor artificiale

Defectele artificiale pot fi obținute fie prin presare și aşchiere, cu ajutorul unor dispozitive de prindere a tubului și sculei adaptate unor mașini unelte, fie prin electroeroziune pe o mașină aptă a prelucra dimensiuni de ordinul micronilor.

Metoda cu ajutorul căreia s-au putut obține defecte artificiale care să nu creeze în zona învecinată deformări, microfisuri sau schimbări de structură, și a căror dimensiuni și forme să fie identice cu cele impuse de specificații, a fost metoda de uzinare prin electroeroziune. În urma testelor efectuate cu ajutorul probelor martor, uzinate pe o mașină tip "Charmilles D 20" echipată cu un generator tip "Microfin" pentru obținerea defectelor în formă de fantă, V sau U, cu lungimea de 0,8 mm, lățimea de 0,2 mm și adîncimea de 0,04 mm, s-au găsit următorii parametri optimi de lucru: tensiunea electrică - 150 V, polaritatea electrodului - (sculă) - negativă, natura electrozilor - cupru, lichidul dielectric - Chevron ELM Fluid 71.

### 2.2.2. Verificarea pe cale metalografică a formelor și dimensiunilor defectelor artificiale

Verificarea formelor și dimensiunilor defectelor a fost efectuată pe cale distructivă cu ajutorul probelor metalografice studiate pe un microscop metalografic cu precizie de  $\pm 0,001$  mm la o mărire de 640 X /61/.

În urma efectuării probelor metalografice s-a ajuns la concluzia că metoda de obținerea defectelor prin presare, cu adîncime mai mare de 10-15  $\mu$ m, nu este recomandabilă datorită deformării



tuburilor de la forma circulară, apariției bavurilor, schimbărilor de structură internă în zona vecină defectelor, etc., inconveniente care în general se mențin și la defectele cu adâncimi mai mari de 20-25  $\mu\text{m}$ , obținute prin aşchiere /57/.

Aceste inconveniente au fost înlăturate prin folosirea metodei de uzinare prin electroeroziune. Probele metalografice au arătat că uzinarea prin electroeroziune nu modifică structura metalografică, abaterea de la forma cerută este mică, iar adâncimea defectelor se încadrează în variații normale de  $\pm 2 \mu\text{m}$ . De asemenea, probele metalografice nu au pus în evidență microfisuri în zona învecinată defectelor, nici chiar în cazul defectelor străpunse. Ca inconveniente, trebuie menționate pe de o parte timpul de obținere a unui defect prin electroeroziune de aproximativ 10 ori mai mare față de cel necesar obținerii lui prin aşchiere, iar pe de altă parte necesitatea ca pentru fiecare defect să fie confecționat un electrod-sculă.

### 2.2.3. Rezultatele experimentale obținute la propagarea ultrasunetelor în tuburi cu defecte artificiale etalon

Testarea tuburilor cu defecte artificiale etalon longitudinale și transversale, interne și externe, uzinate prin electroeroziune, cu aceleași dimensiuni și formă ca și cele ale tubului etalon al firmei producătoare de tuburi din zircaloy-4 (defecte cu lungimea de 0,76 mm și adâncimea de 0,040 mm) au prezentat semnale ultrasonore de aceeași amplitudine ca și a defectelor artificiale ale tubului etalon importat, atât în condiții statice cât și în condiții dinamice (fig.35 din lucrare).

Sensibilitatea metodei, respectiv a controlului, de a detecta și defecte cu dimensiuni mult mai mici decât defectul minim periculos de pe tubul etalon impus de proiectantul elementului combustibil nuclear, a fost pusă în evidență prin trecerea pe instalația reglată la parametrii specificați în normele de control, a unor eşantioane de tuburi cu defecte artificiale de mărimi și orientări diferite.

Astfel testele statice cât și cele dinamice au indicat o mărime de defect, care nu poate fi pusă în evidență în condiții optime de lucru sub nici o formă, numit defect limită negativ, și o mărime de defect care dă o indicație sigură ori de câte ori este

trecut prin instalație, numit defect limită pozitiv.

Pentru undele transversale, generate de fascicolul ultrasonor aflat sub incidența de  $33^{\circ}$ , s-au obținut semnale ultrasonore cu amplitudini apropiate de la defectele interne și externe, atât în condiții statice cât și în condiții dinamice.

La controlul tuburilor de zircaloy-4 importate, deși controlate de fabricant, s-au găsit câteva tuburi care au prezentat un număr relativ mare de semnale repartizate pe întreaga lungime a înregistrării, care este echivalentă cu lungimea tubului, de înălțime sub 50% din înălțimea semnalelor date de defectele etalon. Deși înălțimea acestor semnale este sub nivelul de rebutare, numărul lor mare a impus trecerea unor astfel de tuburi în categoria rebut.

Testele distructive efectuate cu ajutorul metalografiei pe tuburile cu număr mare de semnale au confirmat ipoteza că semnalele provin de la defecte de suprafață cu dimensiuni sub  $20\mu\text{m}/65/$ . Astfel, s-au găsit defecte de tip amprență, unele cu bavuri pe margini provocate în timpul manipulărilor de obiecte cu muchii ascuțite (fig.41;43 din lucrare), altele provocate de mici particole dure provenite de la deteriorarea unei scule în timpul procesului tehnologic, îndepărtate de pe suprafața tubului de operația finală de finisare (fig.39;42 din lucrare). De asemenea, au mai fost puse în evidență incluziuni superficiale de natură metalică, imprimate sau sudate de peretele tubului (fig.40,44,45,46 din lucrare).

Faptul că la controlul tuburilor pentru teci nu s-au detectat defecte periculoase se explică prin aceea că fabricantul de tuburi a efectuat un control de calitate respectând cerințele impuse de beneficiar.

### 2.3. Aplicarea undelor Lamb la controlul nedistructiv al plăcilor și tuburilor cu pereți subțiri

În materialele cu grosimea de același ordin de mărime ca și lungimea de undă a vibrației ultrasonore, deci cazul plăcilor sau tuburilor cu pereți subțiri, poate să ia naștere un mod aparte de unde ultrasonore numit unde de placă sau unde Lamb. Dacă viteza de fază  $V_p$ , definită ca raportul dintre viteza undelor ultrasonore din mediul de cuplare și sinusul unghiului de incidență al fascicolului ultrasonor, este egală cu viteza de propagare a unui mod de un-

dă Lamb, atunci acest mod de undă, care poate fi simetric sau asimetric, se propagă în material printr-un proces de rezonanță, atenuat mai mult sau mai puțin funcție de modul de undă, pînă înfîlnește capătul plăcii sau o discontinuitate /68/, /69/, /70/.

2.3.1. Ecuațiile undelor Lamb, simetrice și asimetrice și metoda de rezolvare cu ajutorul unui program de calcul rulat pe un calculator IBM

Calcularea eforturilor furnizate de teoria elasticității exprimate cu ajutorul funcțiilor potențiale  $\varphi$  și  $\psi$  scrise sub forma:

$$\begin{aligned}\varphi &= A_s \operatorname{ch} qz e^{ikx} + B_a \operatorname{sh} qz e^{ikx} \\ \psi &= D_s \operatorname{sh} sz e^{ikx} + C_a \operatorname{ch} sz e^{ikx}\end{aligned}$$

permite obținerea ecuațiilor undelor Lamb simetrice și asimetrice /48/, /69/:

$$\begin{aligned}\frac{\operatorname{th}(d\sqrt{\alpha^2-1})}{\operatorname{th}(d\sqrt{\alpha^2-\beta^2})} &= \frac{4\alpha^2\sqrt{\alpha^2-\beta^2}\sqrt{\alpha^2-1}}{(2\alpha^2-1)^2} \\ \frac{\operatorname{th}(d\sqrt{\alpha^2-1})}{\operatorname{th}(d\sqrt{\alpha^2-\beta^2})} &= \frac{(2\alpha^2-1)^2}{4\alpha^2\sqrt{\alpha^2-\beta^2}\sqrt{\alpha^2-1}}\end{aligned}$$

Rezolvarea acestor ecuații a fost efectuată cu ajutorul unui program de calcul rulat la un calculator IBM 370/135, /77/, /78/, căruia i s-a introdus ca mărimi de intrare viteza longitudinală și transversală a ultrasunetelor în material, mulțimea valorilor produsului dintre numărul de undă și grosime, precum și numărul de moduri de undă, simetrice și asimetrice, solicitat. Soluțiile ecuațiilor (14) permit ridicarea curbelor ce exprimă relația dintre viteza de fază și produsul  $K_T d$ , respectiv de produsul dintre frecvența ultrasunetelor și grosimea materialului (fig.51) precum și a vitezelor de grup (fig.52) calculate cu ajutorul relației:

$$V_{gr} = \frac{V_\varphi}{1 - \frac{\omega}{V_\varphi} \frac{dV_\varphi}{d\omega}}$$

La baza metodei de rezolvare a ecuațiilor hiperbolice (14) a stat metoda înjumătățirii intervalului de existență a soluțiilor

/79/,/80/,/81/, căutate de program după algoritmul prezentat în organigrama de principiu din fig.50 din lucrare.

### 2.3.2. Teste efectuate pe plăci și tuburi cu pereți subțiri

Testele efectuate cu ajutorul tuburilor cu defecte artificiale au pus în evidență că la propagarea unui mod de undă Lamb semnalele provenite de la defecte sînt în general mult mai mari în comparație cu cele obținute în cazul undelor transversale.

Dificultatea aplicării undelor Lamb în controlul nedistructiv constă în alegerea aceluși mod de undă care să nu fie influențat de variațiile unghiului de incidență a fascicolului ultrasonor, variații datorate jocului tubului în instalația de antrenare. Existența curbelor teoretice ale vitezei de fază pentru materialul testat permite alegerea aceluși mod de undă care pentru produsul  $fd$  să se propage în placă și în cazul în care unghiul de incidență are o variație pronunțată. Pentru tuburile din zircaloy modul de undă  $S_1$  propagat la unghiul de incidență de  $40^\circ$ , la frecvența de 6 MHz, prezintă semnale cu amplitudinea cea mai mare chiar în situația unei variații de  $\pm 1^\circ$  a unghiului de incidență, în comparație cu semnalele recepționate în cazul propagării undelor transversale la unghiul de  $33^\circ$  sau a modurilor  $S_0$  și  $A_0$  generate la unghiurile  $22^\circ$  și  $28^\circ$ . (fig.57).

Deși frecvențele ultrasonore mai mari de 10 MHz permit generarea unui mare număr de moduri de undă Lamb într-un tub sau placă de grosime dată, este de preferat să se aleagă frecvențe mult mai joase pentru ca astfel să fie evitată diminuarea amplitudinii semnalelor datorate atenuării ultrasunetelor în material (fig.58).

### 2.4. Dispozitiv de selectare în clase de calitate folosit în controlul nedistructiv cu ultrasunete

Orice semnal ultrasonor provenit de la un defect natural detectat în tuburile supuse controlului, de amplitudine egală sau mai mare decît amplitudinea fixată cu ajutorul defectelor etalon, plasează tuburile în categoria rebut. În cazul în care amplitudinea lor este mai mică decît cea fixată, tuburile sînt acceptate, indiferent de numărul semnalelor înregistrate, respectiv al de-

fectelor naturale detectate.

O astfel de clasificare riscă să plaseze în categoria acceptate, tuburi cu un număr mare de defecte, mai mici decât defectul minim periculos, a căror nocivitate însumată să depășească cu mult nocivitatea unui singur defect de mărime egală cu defectul minim periculos.

Dispozitivul electronic de selectare prezentat în lucrare /84/ înlătură acest dezavantaj prin faptul că permite ca tuburile care prezintă un anumit număr de semnale, de amplitudine cuprinsă între două limite inferioare amplitudinii dată de defectul etalon, să fie trecut în categoria rebut.

#### 2.4.1. Principiul de funcționare

Deoarece singurul criteriu de apreciere a mărimii, respectiv a nocivității unui defect natural detectat într-un control de serie îl reprezintă amplitudinea semnalului ultrasonor reflectat, clasificarea în clase de calitate se face în funcție de valoarea acestei amplitudini.

De exemplu, un dispozitiv cu trei clase de calitate va recepționa în prima clasă, denumită clasa 0, toate semnalele de amplitudine mai mare sau cel puțin egală cu amplitudinea defectului minim periculos. În această situație este suficient doar un singur semnal recepționat pentru ca tubul să fie trecut în categoria rebut. În a doua clasă de calitate vor fi recepționate toate semnalele de amplitudine cuprinsă între 100% și 80% din amplitudinea defectului minim periculos, și în caz că numărul lor este egal sau depășește cifra 4 tubul este trecut în categoria rebut. Dacă numărul de semnale de amplitudine cuprinsă între 80% și 50%, recepționate numai de canalul corespunzător clasei a treia de calitate, va fi cel puțin egal cu 10, tubul va fi rebutat; în caz contrar, tubul va trece în categoria acceptate.

#### 2.4.2. Descrierea dispozitivului cu trei canale de clasificare a defectelor detectate în funcție de mărimea și numărul lor

Dispozitivul este format dintr-un generator de tensiune liniar variabilă, un adaptor de impedanță și un modul de comandă.

Adaptorul de impedanță transferă de la monitorul generatorului de ultrasunete toate semnalele ce indică prezența unor defecte la partea logică a modului de comandă, care după ce le

selectează pe clase în funcție de amplitudine și număr, acționează un dispozitiv mecanic care plasează tubul într-una din cele două categorii, acceptate sau rebut.

Partea logică este constituită dintr-un număr de canale, mai mare sau cel puțin egal cu numărul de clase de calitate, fiecare având în componența sa un comparator tip fereastră cu un prag inferior și unul superior, porți logice acționate numai de semnalele a căror amplitudine este cuprinsă între cele două praguri, și un numărător de semnale.

Dispozitivul realizat dispune de trei canale, primul cu o singură poartă logică, al doilea cu două porți logice și ultimul cu patru porți logice.

#### 2.4.3. Rezultate experimentale

Testarea dispozitivului electronic s-a făcut cu ajutorul unor tuburi de zircaloy-4 cu defecte artificiale în formă de fantă U, cu lungimea de 0,8 mm, lățimea de 0,2 mm și adâncimi cuprinse între 0,042 mm și 0,035 mm. Defectul cu adâncimea de 0,042 mm a fost considerat defectul minim periculos (reprezentând 10% din grosimea peretelui tubului, valoare impusă de specificațiile tehnologiei de fabricație a elementelor combustibile nucleare) și deci ca făcând parte din clasa de calitate zero care este echivalentă cu categoria rebut. Semnalul ultrasonor provenit de la acest defect a fost reglat la jumătatea înălțimii ecranului generatorului de ultrasunete și notat cu  $h_0$ . Defectele cu adâncimea de 0,039 mm au fost considerate ca aparținând clasei de calitate 1, iar cele cu adâncimea de 0,035 mm clasei de calitate 2.

Testările la care a fost supus dispozitivul, ale căror rezultate sînt prezentate în lucrare în tabela 4, au confirmat buna sa funcționare, prin faptul că tuburile cu defecte artificiale considerate ca făcând parte din categoria rebut au fost plasate la fiecare trecere pe instalația de control în categoria rebut, iar celelalte în categoria acceptate.

#### 2.5. Instalație pentru controlul nedistructiv al cordonului de sudură dintre dopul și teaca elementelor combustibile

2.5.1. Descrierea instalației și principiul de funcționare  
Elementul combustibil este constituit dintr-o teacă, închisă

la capete prin două dopuri sudate, în interiorul căreia se află combustibilul nuclear. De calitatea cordonelor de sudură, care au rolul de a asigura etanșeitaea produselor de fisiune obținute în timpul arderii în reactor, depinde în mare măsură rezistența elementului combustibil la solicitările la care este supus în reactor.

Instalația concepută și realizată în scopul controlului nedistructiv cu ultrasunete a cordonului de sudură este constituită dintr-o cuvă de imersie locală în interiorul căreia este introdus elementul combustibil, cu unul dintre cele două dopuri introdus într-o bucsă de material plastic fixată prin intermediul unui rulment de peretele cuvei /87/. Pereții laterali ai cuvei au orificii de prindere a port-traductorilor, ce pot fi deplasați împreună cu cuva pe o distanță fixată în prealabil cu ajutorul a două limitatoare electrice.

Tubul prins într-o pensetă este pus în mișcare de rotație într-un sens sau altul, cu ajutorul unui motor cu turație variabilă.

Cu ajutorul acestei instalații semiautomate pot fi controlate cordonurile de sudură ale elementelor combustibile cu diametre cuprinse între 5 și 20 mm, cu un traductor emițător-receptor, sau cu doi traductori, unul emițător celălalt receptor, focalizați sau plani.

Principial, tehnica de control folosită este identică cu cea utilizată la controlul calității tuburilor pentru teci, și anume tehnica în impuls cu unde transversale. Traductorul ultrasonor, fixat la o incidență convenabilă propagării undelor transversale în teaca elementului combustibil, se deplasează longitudinal cu o viteză constantă către cordonul de sudură, paralel cu axa elementului combustibil, care are numai o mișcare de rotație.

Cele două mișcări creează posibilitatea unei explorări elicoidale a cordonului de sudură cu un pas ales între 0,5 și 0,05mm. Amplitudinea ultrasonoră, pasul de exploarare, precum și viteza de derulare a hîrtiei înregistratorului sînt determinate cu ajutorul unui tub cu cordon de sudură fără defecte naturale, obținut în aceleași condiții ca și cele ale elementelor combustibile, pe suprafața căruia a fost uzinat un defect artificial cu o adîncime de 0,08mm.

### 2.5.2. Rezultate experimentale

Prin utilizarea traductorilor focalizați în punct, cu frecvența de 10 MHz, fixați la o incidență de  $34^{\circ}$  față de normala suprafeței tubului, s-a reușit să se detecteze defecte de același tip și ordin de mărime, cum ar fi goluri de 0,2 mm în diametru, neaderări și nepătrunderi ale cordonului de sudură mai mari de 0,1 mm, ca și cele detectate de specialiștii Centrului de studii nucleare de la Saclay (Franța), care au publicat rezultatele cercetărilor din acest domeniu /86/.

În lucrare sînt prezentate atât înregistrările semnalelor provenite de la diverse defecte detectate în cordonul de sudură, sau în zona influențată termic cît și metalografiile obținute pe cale distructivă care au confirmat existența acestor defecte.

De asemenea, se specifică că unele elemente combustibile nu au putut fi controlate decît după înlăturarea asperităților pronunțate ale suprafeței cordonului de sudură prin polizare cu hîrtie abrazivă de granulație fină (400), fapt ce reprezintă un mare dezavantaj al controlului cu ultrasunete, deoarece prelucrarea suprafeței cordonului de sudură ridică prețul de cost al elementului combustibil.

Cu toate că metoda de control este operațională din punct de vedere al posibilităților de detectare a defectelor cu ajutorul unei instalații semiautomate și al interpretării înregistrărilor, nu a devenit încă competitivă față de metoda cu raze X, datorită cadenței de control de numai 10-12 elemente combustibile pe oră, față de 40-45 de elemente combustibile pe oră controlate cu raze X.

### 2.6. Instalație pentru studierea cîmpului traductorilor ultrasonori

Cu toate progresele metodei de control nedistructiv cu ultrasunete, există adeseori incertitudini cu privire la calitatea unei piese controlate și riscul de a înlătura o piesă bună sau de a accepta o piesă cu defecte este încă mare. Cauza acestei incertitudini provine de la faptul că unii traductori utilizați prezintă distorsiuni ale cîmpului ultrasonor și că circa 80% dintre traductorii de frecvență mai mare de 6,5 MHz sînt în afara limitelor de acceptare pentru folosirea lor. /91/, /92/, /96/.



Deoarece calitatea este o cerință esențială, mai ales în domeniul nuclear, se impune ca traductorii să fie testați înainte de a fi folosiți și alegeți numai aceia ce corespund din punct de vedere calitativ. Pentru acest motiv a fost concepută și realizată o instalație de studiere a cîmpului ultrasonor prin tehnica reflexiei cu ajutorul unui reflector sferic numită "tehnica bilei" /97/.

#### 2.6.1. Descrierea constructivă și principiul de funcționare

Instalația constă dintr-o cuvă de imersie de dimensiuni 900x300x230 mm, deasupra căreia se poate deplasa pe două axe de rulare un dispozitiv cu cărucior, care are rolul de a susține port-reflectorul, și un suport de prindere al port-traductorului ultrasonor ce urmează a fi testat, fixat la unul din capetele cuvei. Deplasările căruciorului sînt efectuate de un motorag cu tracțiune variabilă, continuă sau pas cu pas, acționat de o comandă electronică.

Cu ajutorul unor potențiometre liniare se poate acționa penița unui înregistrator XY funcție de poziția căruciorului care susține capul de prindere al reflectorului sferic, cu diametrul cuprins între 0,5 și 3 mm, ce baleiază după direcțiile dorite în cîmpul ultrasonor într-un plan paralel cu suprafața traductorului testat.

Tehnica de măsurare a intensității cîmpului ultrasonor în diverse puncte constă în baleierea reflectorului sferic într-un plan paralel cu suprafața emițătoare a traductorului la o anumită distanță de acesta. Penița inscriptoare a înregistratorului XY, prin intermediul potențimetrelor de poziționare, descrie în abscisă drumul parcurs de reflector, iar în ordonată amplitudinea semnalelor ultrasonore reflectate și recepționate de traductor.

Determinarea punctelor experimentale de maxim și minim ale intensității cîmpului ultrasonor al traductorilor plani, ce se găsesc în zona cîmpului apropiat (zona Fresnel) cît și a distanței focale ale traductorilor focalizați în punct sau linie, se obțin prin efectuarea măsurărilor de o parte și de alta a punctelor teoretice calculate cu ajutorul relațiilor:

$$Y_m^+ = \frac{4R^2 - \lambda^2(2m+1)^2}{4\lambda(2m+1)} \quad m = 0, 1, 2, \dots$$

$$Y_n^- = \frac{R^2 - \lambda^2 n^2}{2n\lambda} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$f = \frac{R}{1 - \frac{V_m}{V_L}} ; \quad l \approx 1,4 \frac{\lambda f}{D} ; \quad L \approx 8\lambda \left(\frac{f}{D}\right)^2$$

### 2.6.2. Teste efectuate asupra traductorilor ultrasonori

În lucrare sînt prezentate curbele înregistrate în diverse puncte ale câmpului ultrasonor generat de traductori de imersie plani și focalizați de frecvențe diferite (fig.80-85).

În fig.81 sînt reproduse liniile de nivel în lungul axei unui traductor de 5 MHz cu diametrul de 10 mm a căror distorsiuni îl fac inapt folosirii lui în controlul nedistructiv. În fig.82a sînt trasate curbele izobare într-un plan paralel cu suprafața de emisie a unui traductor de 4 MHz la distanța de 20 mm, inapt pentru control, iar în fig.82b curbele izobare a unui traductor de același tip cu câmp uniform. Pentru a sublinia mai mult neuniformitatea sau uniformitatea câmpului celor doi traductori s-au trasat și liniile de nivel în lungul axei geometrice a traductorului (fig.83 a și b).

De asemenea, se prezintă și cazul unui traductor focalizat în punct cu câmp ultrasonor distorsionat în zona din jurul focarului.

## III. STUDIUL APLICĂRII ULTRASUNETELOR ÎN TEHNOLOGIA DE PRELUCRARE A URANIULUI

### 3.1. Instalație și metodă pentru determinarea limitei de separare a două lichide nemiscibile

În procesul de purificare a uraniului de puritate nucleară prin extracție cu solvenți, este importantă stabilirea și înregistrarea poziției interfeței dintre cele două lichide nemiscibile.

bile ce intervin în acest proces tehnologic, pentru ca în funcție de această poziție să fie reglați parametrii operaționali ai echipamentului în vederea obținerii unui randament maxim. Oscilațiile mari ale poziției interfeței provoacă curgeri anormale de faze care duc la o durată mai mare de extracție a uraniului și implicit la creșterea prețului de cost.

Metodele și aparatura necesară determinării poziției interfeței dintre două faze nemiscibile sînt relativ puțin descrise în literatura de specialitate. Din cele descrise, majoritatea au o precizie relativ mică, iar altele foarte scumpe, cum sînt cele ce folosesc principiul radarului cu microunde /107/.

Modificarea principiului de funcționare a porții electronice generată de monitorul generatorului de ultrasunete prin realizarea unui dispozitiv electronic de comandă, cu bloc declanșator și bază de timp, care să acționeze poarta electronică, redusă la o lățime de 1 mm, pe tot ecranului generatorului de ultrasunete, astfel încît să poată înregistra semnalele ultrasonore în funcție de poziția lor, a permis punerea la punct a unei instalații și metode de determinare a poziției interfeței a două, sau mai multe faze nemiscibile /108/.

### 3.1.1. Descrierea instalației

Instalația este formată dintr-o celulă în care se găsesc cele două faze nemiscibile, un traductor ultrasonor de imersie cu ajutorul căruia se emit și se recepționează undele ultrasonore reflectate de la interfață, un generator de ultrasunete și un înregistrator XY.

Traductorul ultrasonor, cu suprafața de emisie-recepție introdusă în faza ușoară, este cuplat la generatorul de ultrasunete al cărui monitor, care generează poarta electronică pe osciloscopul generatorului de ultrasunete, are o ieșire legată la înregistratorul XY, iar alta la dispozitivul electronic care acționează simultan poarta electronică și penița înregistratorului.

### 3.1.2. Principiul de funcționare

În momentul umplerii celulei cu cele două faze nemiscibile, se declanșează funcționarea instalației prin închiderea unui circuit din blocul de comandă, care va deplasa cu viteză uniformă poarta electronică pe toată lungimea ecranului osciloscopului,

echivalentă cu distanța de la traductor la poarta inferioară a cuvei, într-un timp  $t_1$  după care revine în poziția inițială într-un timp  $\Delta t_1$ , egal cu inerția înregistratorului XY. La momentul  $t_2$ , după un interval de timp  $\Delta t_2$ , poarta electronică se va deplasa din nou pe tot ecranul cu aceeași viteză ca și la prima deplasare, după care revine în poziția inițială în același interval de timp  $\Delta t_1$ .

Timpul  $t_1$ , precum și intervalul de timp  $\Delta t_2$ , pot fi menținuți constanți pe tot parcursul procesului tehnologic, însă dacă anumite considerente tehnologice cer ca la un moment dat una din aceste valori să fie modificată, operatorul poate interveni, fără ca procesul tehnologic să fie oprit.

Trecerea porții electronice peste impulsurile reflectate de la baza inferioară a incintei și de la interfață, precum și peste impulsul inițial al traductorului, acționează penița înregistratorului care va înregistra trei semnale la distanțe echivalente cu distanțele dintre cele trei impulsuri ultrasonore. Cum distanța traductor - baza inferioară a celulei rămâne constantă, semnalele înregistrate se găsesc la aceeași distanță față de origine pe toată perioada procesului tehnologic. Deplasarea interfeței, mai aproape sau mai departe de traductor, este observată pe înregistrator printr-o apropiere sau depărtare a semnalului său față de semnalul dat de impulsul inițial al traductorului (fig.88-97 din lucrare).

### 3.1.3. Testarea instalației în fluxul tehnologic de extracție a uraniului

Pentru testare s-a folosit un generator de ultrasunete tip USIP 10 W cu monitor tip UMZ 12, cu un traductor ultrasonor de imersie tip MB 4T sau MB 6T, un înregistrator XY și un contactor amestecător-decantor cu stadii discrete tip POLLUY-C cu capacitate maximă de 20 l/h.

S-au efectuat teste atât în condiții statice cât și dinamice, cu sau fără extracție de uraniu, variind parametrii procesului tehnologic - debitul fazelor, raportul fază ușoară / fază grea, viteza de agitare etc. - astfel încât să se verifice aptitudinea dispozitivului de a detecta și înregistra cele mai bruște sau lente variații ale poziției interfeței dintre fazele nemiscibile.

Posibilitatea de a deplasa poarta electronică cu o viteză constantă între 0,5 mm/s pînă la 200 mm/s, a permis ca schimbările poziției interfeței din procesele tehnologice aflate în cele mai critice situații să poată fi urmărite și înregistrate cu o precizie foarte bună (0,2 mm).

În lucrare sînt prezentate în fig.84,94-100 unele înregistrări ale celor mai semnificative procese tehnologice de extracție a uraniului.

Modificarea formei semnalelor ultrasonore reflectate de la limita de separare în momentul apariției precipitatelor reprezintă un avantaj în plus al metodei, deoarece permite operatorului să ia măsurile corespunzătoare pentru ca procesul tehnologic să decurgă în condiții normale.

Metoda este foarte utilă întrucît echipamentul poate lucra la doze mari de radiații ionizante, unde intervenția directă a operatorului de a urmări vizual și în mod continuu poziția interfeței nu este posibilă.

### 3.2. Determinarea și înregistrarea vitezei de sedimentare a unui solid aflat în suspensie într-un lichid

În procesul de fabricație a uraniului fritabil din uranat de amoniu, obținut prin precipitare din soluții de nitrat de uraniu și amoniac, este importantă menținerea vitezelor de sedimentare între limite bine stabilite. În caz contrar operațiile de filtrare, calcinare, etc. duc la obținerea unui bioxid de uraniu cu proprietăți neuniforme și deci la dificultăți tehnologice la presarea și sinterizarea lui.

Studierea propagării undelor ultrasonore de frecvență cuprinsă între 2-10 MHz în sistemele monodisperse și polidisperse a permis punerea la punct a unei metode de măsurare și înregistrare a vitezei de sedimentare a fazelor disperse datorită realizării unui montaj electronic /109/ atașat dispozitivului descris în paragraful precedent /108/.

S-au ridicat curbele vitezei de sedimentare atât pentru sistemele monodisperse cît și pentru sistemele polidisperse. Cu ajutorul unor curbe de etalonare ridicate în prealabil pentru sistemele monodisperse, s-au determinat, pe lîngă viteza de sedimentare și diametrul mediu al particulelor pentru o concentrație dată cu o

precizie de  $\pm 2 \mu\text{m}$ . În cazul sistemelor polidisperse, metoda prezentată permite operatorului ca la prima citire să poată determina vitezele de sedimentare, precum și dimensiunile particolelor aflate în straturile extreme (stratul cu cele mai ușoare particole și stratul cu cele mai grele particole).

În tabela 6 din lucrare sînt prezentate rezultatele obținute pentru cîteva soluții mono și polidisperse.

#### IV. CONCLUZII

Problemele expuse în lucrare, pe lîngă faptul că servesc scopului practic generat de necesitatea efectuării unui control de calitate asupra componentelor elementelor combustibile prin metoda ultrasonoră, prezintă interes pentru controlul nedistructiv cu ultrasunete aplicat în toate ramurile industriei, prin faptul că argumentează necesitatea trecerii de la controlul manual la controlul efectuat cu ajutorul unor instalații automatizate și care să permită înregistrarea semnalelor provenite de la defecte, atît pentru mărirea productivității cît mai ales pentru transformarea sa într-un control obiectiv și eficient.

Contribuțiile mai importante pe care le conține această lucrare sînt:

1. Stabilirea pe baza analizei rezultatelor testelor distructive (prin folosirea de probe metalografice) a unei metode de lucru în vederea obținerii defectelor artificiale etalon care să nu creeze în zona învecinată deformări, microfisuri sau schimbări de structură metalografică. Obținerea defectelor artificiale într-o gamă largă de dimensiuni ( $5-60 \mu\text{m}$  adîncime) a permis, ca pe lîngă evitarea importului de tuburi etalon necesare controlului tuburilor folosite ca teci de elemente combustibile nucleare, să se obțină informații utile cu privire la performanțele și limitele tehnicilor, instalațiilor și aparaturii ultrasonore de detectare a defectelor periculoase.

2. Prin rezolvarea ecuațiilor hiperbolice ale undelor Lamb, cu ajutorul unui program de calcul rulat pe un calculator tip IBM, a fost posibilă studiarea propagării diferitelor moduri de unde simetrice și asimetrice în plăci și tuburi cu pereți subțiri. Ca urmare a ridicării curbelor teoretice ale vitezelor de fază și grup pentru zircaloy-4, s-au putut interpreta rezultatele obținute

la detectarea defectelor prin folosirea undelor ultrasonore de frecvențe și viteze de fază diferite și ca urmare, alegerea acestor moduri de unde simetrice sau asimetrice, care pot detecta defecte de dimensiuni mici cu o sensibilitate mult mai bună decât în cazul folosirii undelor transversale.

Deși unii specialiști recomandă folosirea la controlul nedistructiv al tuburilor de zircaloy a undelor ultrasonore de frecvențe mai mici de 10 MHz, s-a constatat experimental că frecvența de 6 MHz prezintă sensibilitatea cea mai ridicată la punerea în evidență a defectelor periculoase, rezultate aflate în concordanță cu cele prezentate în lucrările Societății americane de materiale /82/, /83/.

3. Proiectarea și realizarea unui dispozitiv electronic de selectare în clase de calitate necesar automatizării controlului nedistructiv de serie, care, pe lângă faptul că înlătură selectarea manuală efectuată de un operator prin citirea înregistrărilor, permite selectarea pieselor în mod automat, atât după amplitudinea semnalelor ultrasonore recepționate, cât și după numărul defectelor din clase prestabilite de amplitudine. Selectarea fiind efectuată după criteriul însumării dimensiunii defectelor, clasificarea pieselor din punct de vedere calitativ, devine mult mai obiectivă în comparație cu selectarea clasică efectuată numai după criteriul comparării amplitudinilor recepționate de la defecte, cu amplitudinea defectului etalon considerat ca un defect minim periculos.

4. Dispozitivul poate să funcționeze și în situația în care procesul tehnologic impune controlului selectarea clasică, după amplitudine, prin menținerea în funcție a unui singur canal cu o singură poartă logică.

5. Construirea unei instalații semiautomate de control cu ultrasunete al cordonului de sudură dintre dopul și teaca elementului combustibil, a permis să se tragă concluzia că este posibilă aplicarea ultrasunetelor și în cazul sudurilor de dimensiuni foarte mici. S-au detectat defecte de tip goluri, incluziuni, nepătrunderi, de 0,2 mm în diametru, practic cu aceeași sensibilitate ca și a metodei cu raze X.

Cu ajutorul acestei instalații se va putea perfecționa tehnica de control nedistructiv cu ultrasunete în vederea atinge-

rii unei cadențe ridicate de lucru, astfel încît să înlocuiască metoda de control cu raze X, care este costisitoare și cere un timp îndelungat de interpretare a rezultatelor.

6. Se prezintă o instalație proiectată și realizată în scopul testării și studierii cîmpului traductorilor ultrasonori folosiți în diverse controale nedistructive.

Rezultatele obținute în urma testării traductorilor ultrasonori au arătat că un număr mare de traductori ultrasonori au cîmpul neuniform sau distorsionat. Acest fapt demonstrează necesitatea selectării lor, în funcție de condițiile impuse controlului, astfel încît rezultatele să nu fie afectate de erori.

Determinarea cîmpului ultrasonor al pastilelor piezoelectrice neamortizate, folosite la realizarea în laborator a traductorilor ultrasonori de imersie, a permis punerea la punct a unei tehnologii de fabricație, în vederea adaptării ei la fabricarea pe scară industrială a traductorilor ultrasonori cu materiale românești cum ar fi pastile piezoelectrice, tungsten și araldit.

7. Datorită modificării principiului de funcționare a porții electronice generată de un monitor de ultrasunete, prin realizarea unui dispozitiv electronic de baleiere, a fost posibilă aplicarea ultrasunetelor și în domeniul de prelucrare și extracție a uraniului de puritate nucleară. În lucrare este descrisă instalația și metoda de determinare și înregistrare automată a poziției interfeței de separare a două lichide nemiscibile aflate în procesul de purificare a uraniului de puritate nucleară.

Determinarea poziției interfeței, precum și a formării precipitatelor sau emulsiilor în timpul extracției uraniului a permis ca procesul tehnologic să decurgă în condiții normale, astfel încît să fie evitată recircularea celor două faze cu pierderi de materiale și energie.

8. Deoarece pe baza acestui nou principiu de funcționare a porții electronice, s-a putut realiza o instalație de determinare a unui parametru important în caracterizarea pulberilor supuse presării și sinterizării, și anume viteza de sedimentare a unui solid aflat în suspensie într-un lichid, cu aplicații la suspensiile de diuranat de amoniu. Ultimile două instalații pot fi fo-



losite și în alte domenii din industria chimică, nu numai în domeniul de extracție și prelucrare a uraniului.

9. Deși instalațiile și metodele descrise în lucrare au aplicabilitate în controlul nedistructiv cu ultrasunete în diverse ramuri ale industriei, ele asigură în primul rând rezolvarea unor probleme importante din domeniul fabricării elementelor combustibile necesare viitoarelor centrale energetice nucleare românești.

#### EXTRAS DIN BIBLIOGRAFIE

- /6/. A. van der Linde, "Quality Selection of Zircaloy-2 Canning by Ultrasonic Testing on Small Defects", Non Destructive Testing in Nuclear Technology, vol. I, IAEA Viena, 1965
- /9/. x x "Control des tubes par ultrasons", MMN-68-008, Dessel 12, Europlaan, Belgique
- /35/. Y. Nakamura, Y. Tateishi, "Ultrasonic Testing of Metallic Uranium", Non-Destructive Testing in Nuclear Technology, vol. I, IAEA, Viena, 1965
- /37/. N. Andreescu, O. Andreescu, S. Vasiliu, "Aplicarea sistematică a metodei electrocinetice și a metodei ultrasonore în controlul pastilelor de  $UO_2$ ". R.I. S. II/12, IFA, 1970
- /39/. N. Andreescu, E. Lăbușcă, S. Vasiliu, "Sur la detectabilité des défauts macroscopiques de matériaux conducteurs par des essais électriques", Revue Roumaine de Physique, Nr. 5, 1967
- /40/. P. Georgeoni, S. Vasiliu, R. Deju, "Detectarea și localizarea nedistructivă a defectelor macroscopice din pastilele sinterizate de bioxid de uraniu", Sesiunea de comunicări științifice, IRNE Pitești, oct. 1978
- /41/. R. Deju, P. Georgeoni, S. Vasiliu, "Influența presiunii asupra apariției defectelor macroscopice în pastile de bioxid de uraniu". În curs de redactare.
- /42/. R. C. McMaster, "Nondestructive Testing Handbook" Ronald Press Comp. New York, 1959
- /43/. J. and H. Krautkrämer, "Ultrasonic Testing of Materials", Springer-Verlag, New York, 1969

- /45/. S.Vasiliu, F.Roiban, E.Dascălu, "Controlul defectometric al tuburilor pentru teci prin ultrasunete. Studiul și realizarea dispozitivului pentru defectoscopia ultrasonică" R.I. 15/12/1971, ITN, Contract 352/15/41
- /48/. I.A.Viktorov, "Rayleigh and Lamb Waves", Plenum Press, New York, 1967
- /56/. S.Vasiliu, I.Baltac, F.Roiban, "Realizarea defectelor etalon de diferite forme și dimensiuni, în tuburi avînd diametrul exterior cuprins între 10 și 20 mm", R.I.21/IV, Vol. II, Contract 05/B/352/15/41/iunie 1972
- /57/. S.Vasiliu, C.Sabău, "Experimentări cu privire la realizarea defectelor etalon folosite în controlul nedistructiv al tuburilor pentru teci de elemente combustibile nucleare", Sesiunea de comunicări științifice, IRNE Pitești, noiembrie 1977
- /65/. D.Bragadireanu, V.Gheață, S.Vasiliu, "Punerea în evidență și măsurarea prin metode metalografice a defectelor naturale din tuburile de zircaloy, detectate la controlul defectoscopic cu ultrasunete", R.I. 511/2, IRNE, Contract S 05 B/1978
- /77/. S.Vasiliu, S.Andreescu, O.Andreescu, I.Baltac, "Determinarea teoretică a vitezelor de propagare a undelor Lamb cu ajutorul datelor obținute la calculator", R.I./421/IV, Contract S 05/B sept. 1977
- /78/. S.Vasiliu, L.Biro, "PGV Computer Programm for the Calculation of the Phase and Group Velocities of Symmetrical and Asymmetrical Modes of Lamb Waves", Sesiunea de comunicări științifice, IRNE, Pitești, noiembrie 1977
- /84/. S.Andreescu, S.Vasiliu, "Dispozitiv electronic de selectare folosit în controlul nedistructiv". Cerere de brevet depusă sub nr.92163, la 19 noiembrie 1977
- /85/. S.Vasiliu, "Le contrôle de santé par ultrasons de la soudure tube-bouchon (reacteur eau ordinaire)", Rapport de stage, Section de Techniques Avancées, Saclay, Franța, 1/VIII/1973

- /86/. C.Pillet, M.T.Destribats, P.Papezyk, "Contrôle par ultrasons de la soudure des bouchons des crayons combustibles des reacteurs a eau sous pression (PWR) ", SR-7/14, Conferință internațională NDT, Oslo, 1976
- /87/. D.Gherțoiu, F.Roiban, S.Vasiliu, "Aspecte privind controlul nedistructiv al sudurilor elementelor combustibile nucleare cu ultrasunete și raze X", Prima Conferință Națională de Control Nedistructiv, București, iunie, 1974
- /91/. B.H. Lidington, M.G.Silk, "The Variability of Ultrasonic Transducers", British Journal of NDT, Nov., 1972
- /95/. S.Vasiliu, "Analyse du champ ultrasonore des pastilles piezoélectriques libres et amorties aux diametres et fréquences différents dans l'eau tout comme dans les métaux", Rapport de stage, Section de techniques Avancées, Saclay, Franța, 7/III/1973
- /97/. S.Vasiliu, "Instalație pentru testarea și studierea cimpului traductorilor ultrasonori, R.E. IRNE, Nr.132, decembrie, 1978
- 107/. x<sup>x</sup> x "TDR Method and Apparatus for Measurement of Levels and Physical Characteristics of Moving or Static Liquids and Fluids in Pipelines or Tanks", CNEN, RT/CH I (74)7, (Italien Patent nr.961.071)
- 108/. S.Andreescu, S.Vasiliu, C.Țurcanu, "Procedeu și instalație pentru determinarea poziției interfeței dintre două lichide nemiscibile", Cerere de brevet depusă sub nr.94574 la 6/7/1978
- /109/. S.Vasiliu, M.J.Spinzi, S.Andreescu, O.Dejan, "Procedeu și aparat pentru măsurarea vitezei de decantare a unui solid aflat în suspensie", Cerere de brevet depusă sub nr.31226 la 7/10/1978

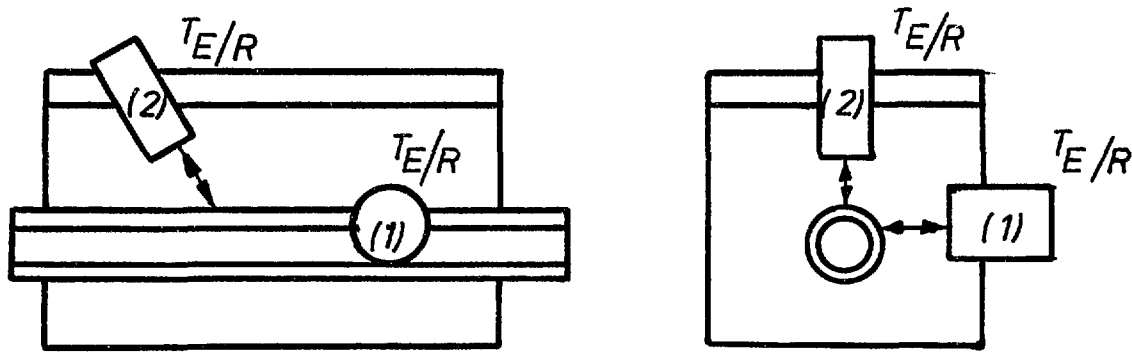


Fig. 3. Poziția traductorilor ultrasonori pentru defecte longitudinale ( 1 ) și defecte transversale ( 2 )

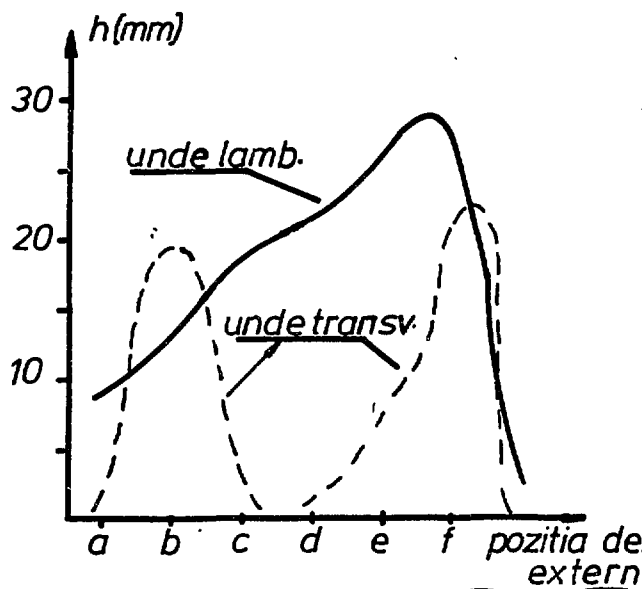


Fig. 53. Înălțurătoarea semnalelor în funcție de poziția defectelor externe

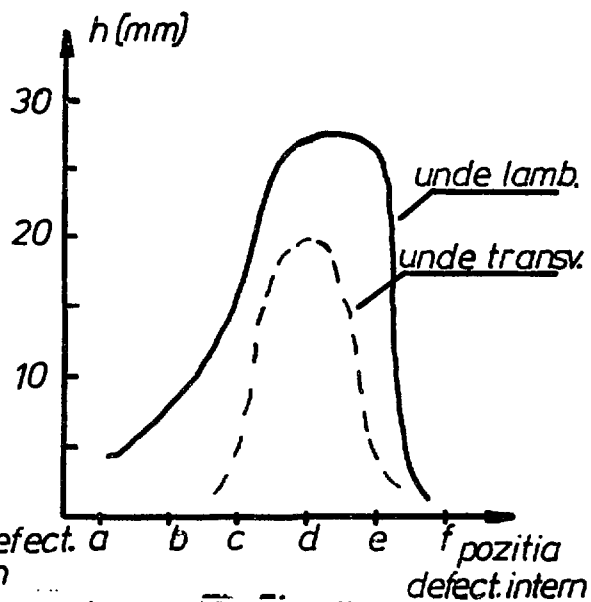


Fig. 54. Înălțurătoarea semnalelor în funcție de poziția defectelor interne

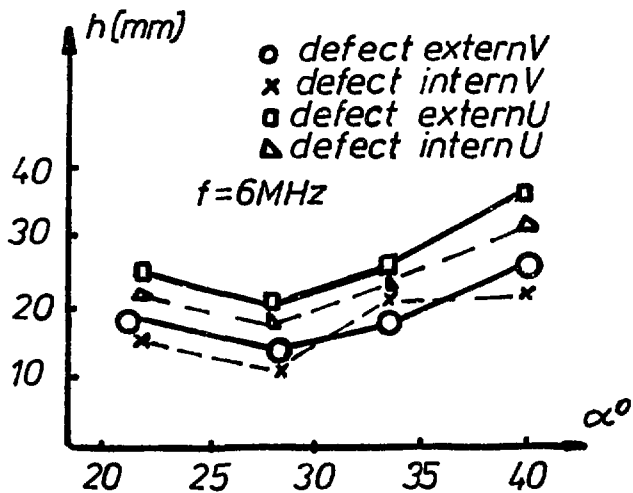


Fig. 57. Înălțimea semnalelor recepționate, în funcție de unghiul de incidență

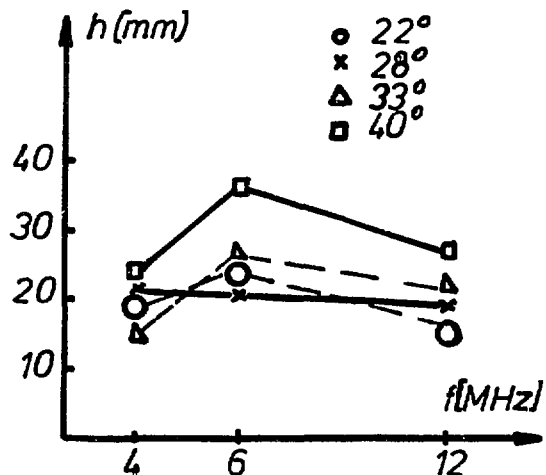


Fig. 58. Înălțimea semnalelor recepționate în funcție de frecvență

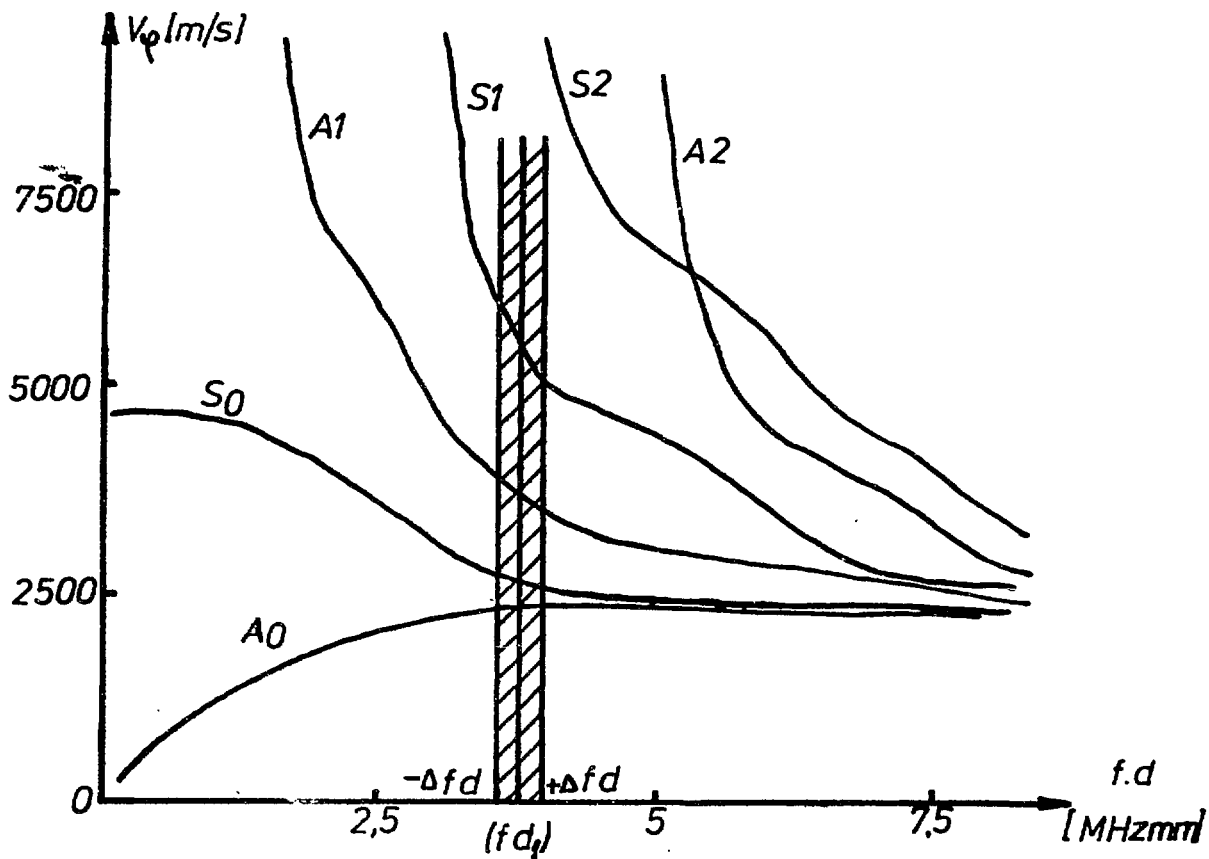


Fig.51. Curbele vitezei de fază în funcție de produsul dintre frecvență și grosime

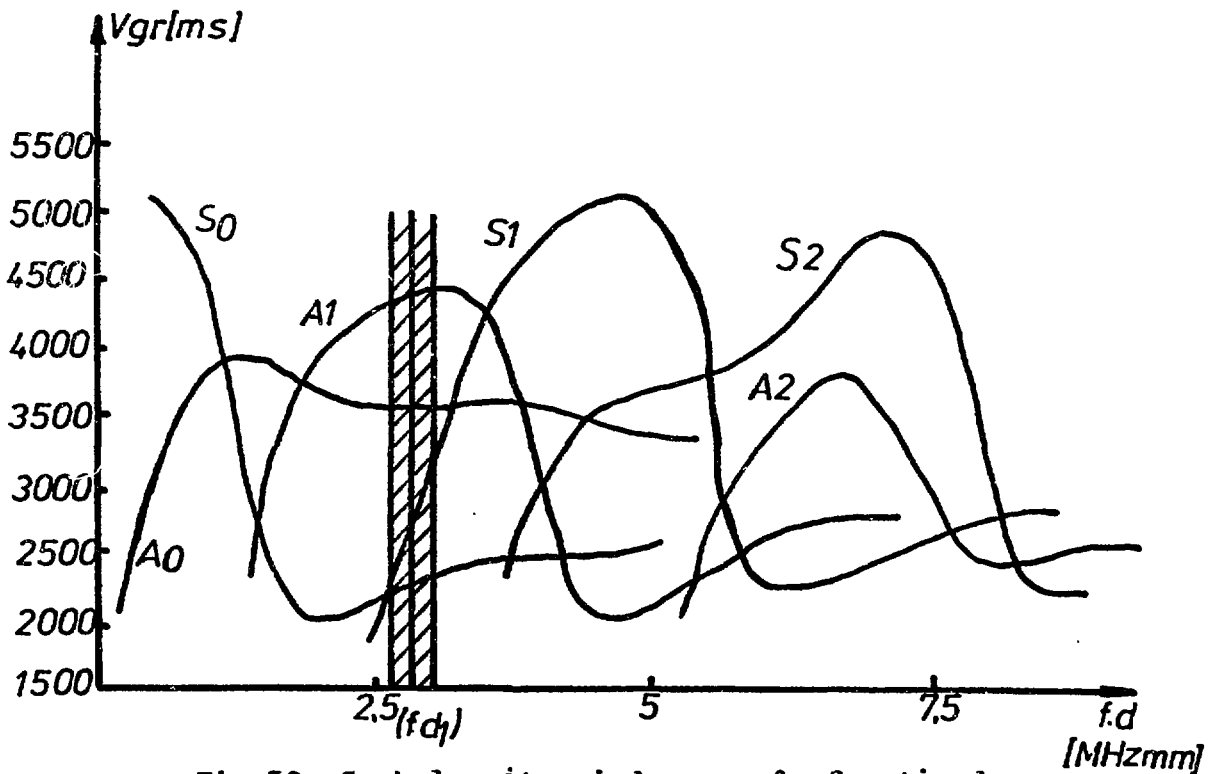


Fig.52. Curbele vitezei de grup în funcție de produsul dintre frecvență și grosime

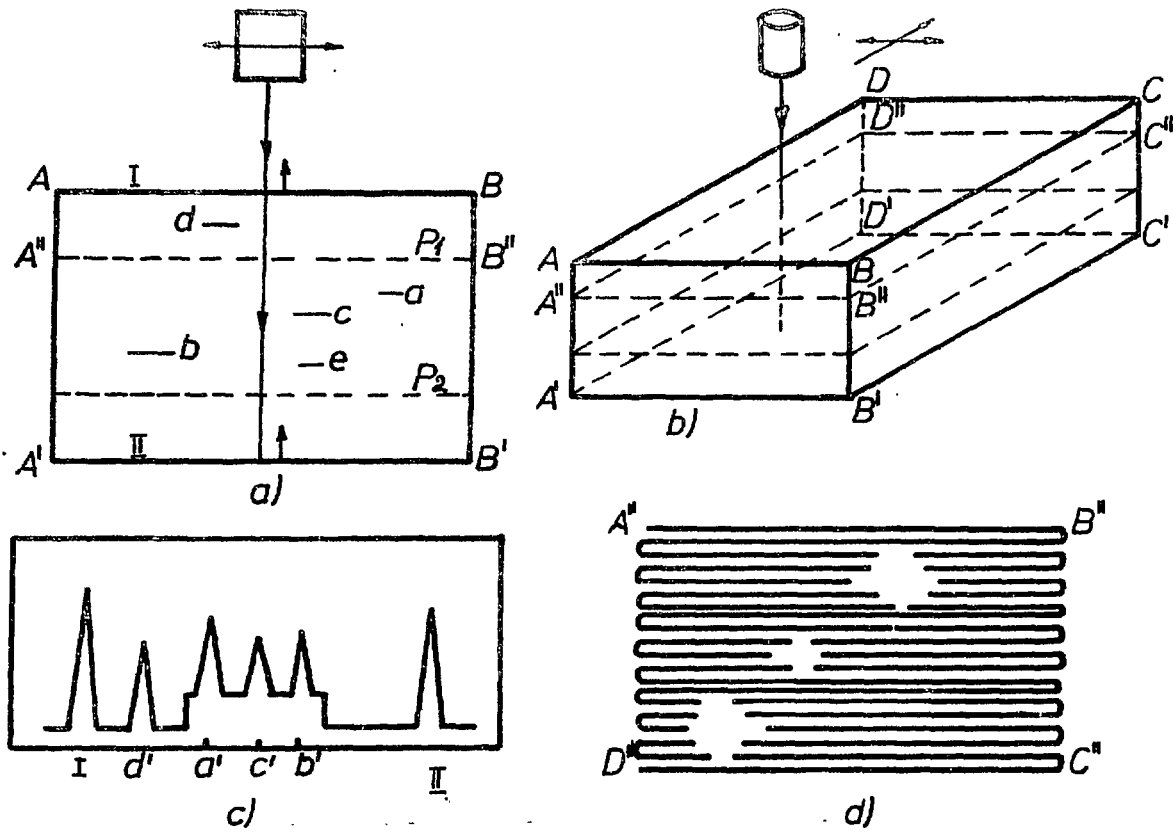


Fig.86. Inregistrarea defectelor cuprinse între planele  $P_1$  și  $P_2$

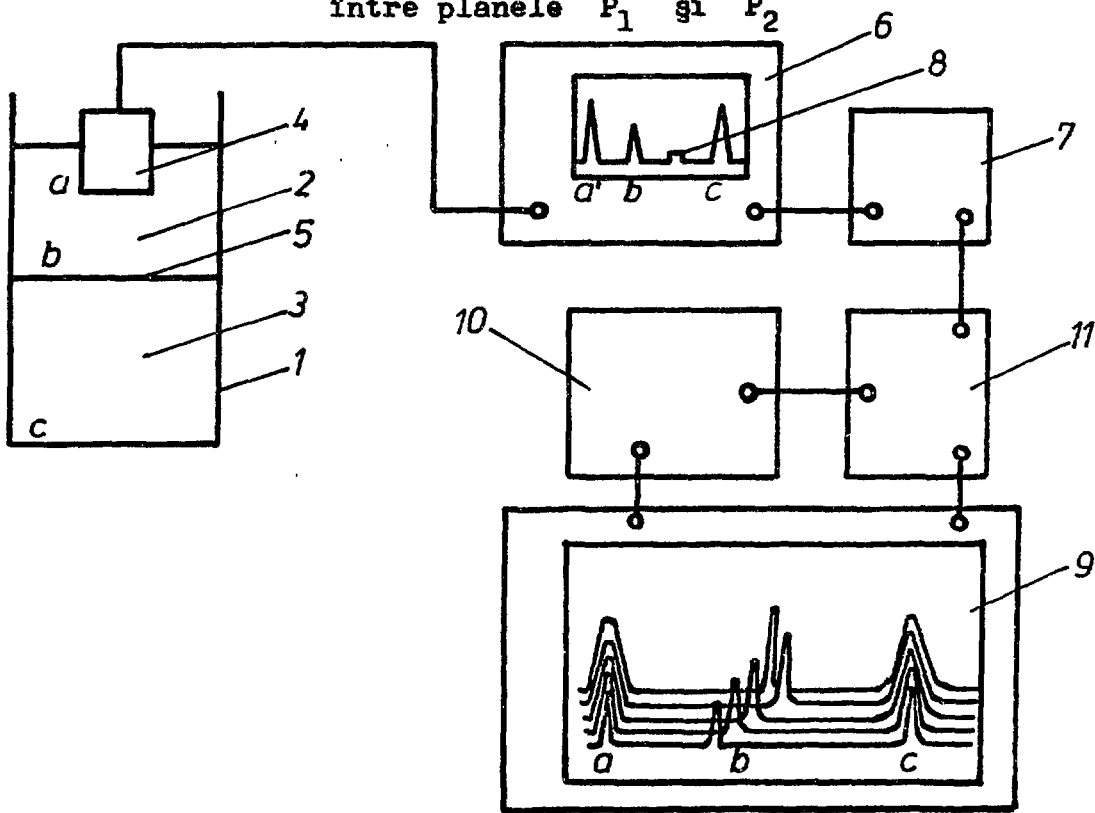


Fig.87. Schema de principiu a instalației pentru determinarea limitei de separare a două lichide nemiscibile

