

INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA” TIMIȘOARA

FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. Tudor Iclănzan

CERCETĂRI ASUPRA PARAMETRILOR CONSTRUCTIVI
ȘI FUNCȚIONALI LA MASINILE DE PRELUCRAT CU
ULTRASUNETE.

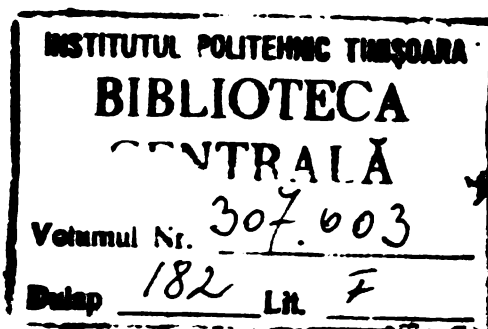
-Teza de doctorat-

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA”
TIMIȘOARA

Conducător științific

Prof. Em. Dr. Ing. Gheorghe Savii

1975



CUPRINS

| | Pag. |
|---|------|
| 1. INTRODUCERE..... | 3 |
| 2. ELEMENTE SI NOTIUNI DE ULTRAACUSTICA..... | 8 |
| 2.1. Unde și mărimi acustice..... | 8 |
| 3. PRELUCRAREA ULTRASONICA DIMENSIONALA A MATERIALELOR DURE SI FRAGILE..... | 14 |
| 3.1. Modele de prelucrare ultrasonică a materialelor dure și fragile..... | 14 |
| 3.2. Domenii de aplicabilitate. Realizări..... | 18 |
| 3.3. Stadiul actual în țară, limitele și perspectivele procedului..... | 20 |
| 4. PROBLEME TEHNLOGICE ALE PRELUCRĂRII ULTRASONICE..... | 23 |
| 4.1. Apreciere critică privind teoria prelucrării cu ultrasonete și studiul parametrilor tehnologici de bază..... | 23 |
| 5. OBIECTUL, MATERIALUL SI METODICA DE CERCETARE..... | 37 |
| 5.1. Metodica de cercetare și problemele puse..... | 37 |
| 5.2. Materialele și obiectul cercetării..... | 38 |
| 6. ANALIZA PARAMETROLOR CONSTRUCTIVI SI FUNCTIONALI IN CORELATIE CU PARAMETRII TEHNLOGICI AI PRELUCRĂRII ULTRASONICE..... | 46 |
| 6.1. Studiul construcției maginilor ultrasonice în legătură cu parametrii tehnologici de bază ai prelucrării...46 | |
| 6.2. Stadiul cercetărilor, perspective și limite..... | 50 |
| 7. CERCETAREA BLOCULUI ULTRASONIC (B.U.)..... | 56 |
| 7.1. Tipuri constructive de blocuri ultrasonice, compunerea și elemente constructive specifice..... | 56 |
| 7.2. Materiale utilizate în construcția transductorilor ultrasonici..... | 57 |
| 7.3. Elemente de calcul și proiectare a blocurilor ultrasonice supuse încercărilor..... | 67 |
| 7.4. Tehnologia de execuție, montajul, adaptarea la generator și adaptarea sculelor la blocul ultrasonic..... | 75 |
| 7.5. Criteriul de apreciere al eficienței blocurilor ultrasonice, încercarea lor și determinarea regimurilor optime de excitație..... | 81 |
| 7.6. Determinări comparative privind eficiența blocurilor ultrasonice pentru diferite tipuri constructive.... | 91 |
| 7.7. Cercetări privind soluții constructive îmbunătățite .. | 100 |

| | |
|---|-----|
| 8.0. CERCETAREA SISTEMULUI DE AVANS (S.A.)..... | 104 |
| 8.1. Condițiile funcționale de bază ale sistemelor de avans folosite la mașinile de prelucrat cu ultrasunete, tipuri constructive de bază, tendințe în construcție..... | 104 |
| 8.2. Verificarea experimentală a influenței parametrului tehnologic de bază (p) și corelarea acestuia cu condițiile cinematice pentru sistemul de avans..... | 108 |
| 8.3. Stabilirea tipului constructiv pentru sistemul de avans (S.A.)..... | 121 |
| 8.4. Premizele introducerii ciclului automat. Elemente de protecție a operatorului față de ultrasunete..... | 129 |
| 8.5. Compunerea comanda și funcționarea sistemului de avans realizat..... | 137 |
| 8.6. Cercetări privind variante constructive pentru sistemul de avans..... | 147 |
| 9. SISTEMUL DE ALIMENTARE CU SUSPENSIE ABRAZIVĂ (S.A.S.A.)..... | 153 |
| 9.1. Condiții funcționale de bază și tipuri constructive..... | 153 |
| 9.2. Construcția sistemului de alimentare cu suspensie abrazivă—respectiv metode și rezultatele încercărilor..... | 155 |
| 10. APLICAREA INDUSTRIALĂ A CERCETĂRII..... | 160 |
| 10.1. Rezultate și elemente de eficiență economică..... | 160 |
| 10.2. Perspectivă și limite..... | 163 |
| 11. CONCLUZII..... | 167 |
| BIBLIOGRAFIE..... | 171 |

1. INTRODUCERE

Dezvoltarea multilaterală și accelerată a tehnicii în ultimii ani a impus tot mai mult folosirea unor materiale cu proprietăți fizico mecanice deosebite necesare în diferite domenii de activitate. Problemele legate de prelucrarea dimensională a acestor materiale n-au putut fi rezolvate decât în parte de tehnologiile tradiționale, dezvoltându-se tehnologiile neconvenționale de prelucrare a materialelor în rîndul cărora un loc bine determinat îl ocupă prelucrarea cu ultrasunete

Astfel prelucrarea dimensională a materialelor dure și fragile în special electroizolante este inefficientă sau uneori chiar imposibilă cu alte metode decât cea ultrasonică.

În acest context dezvoltarea industriei noastre într-un ritm accelerat pune tot mai acut problema rezolvării tehnologiei de prelucrare dimensională cu ultrasunete și asimilarea în țară a producției echipamentului necesar.

Prezenta teză de doctorat pornind de la situația că în țară nu dispunem de o experiență tehnologică proprie și de mașini de prelucrat cu ultrasunete românești, abordează problema fundamentării teoretice, dar mai mult aplicative a prelucrării dimensionale cu ultrasunete și în speță a construcției utilajului.

Pe baza cercetării a numeroase studii și experiențe efectuate în țări cu tehnologie avansată, (2), (3), (12), (13), (28), (41), (50), (57), (61), (73), a comparării performanțelor și posibilităților diferitelor mașini ultrasonice experimentale sau de serie realizate deja de firme consacrate (4), (11), (23), (29), (49), (78), (120) s-a desprins concluzia că fiind vorba de o tehnică relativ recentă dezvoltată în ultimii 20 ani cu posibilități reale de viitor, se mai prezintă încă unele incertitudini atât din punct de vedere al cunoașterii fenomenologiei și tehnologiei cât și din punct de vedere al realizării utilajului. Dacă datele privind tehnologia de prelucrare și fenomenologie sunt relativ accesibile deși ele sînt în majoritatea cazurilor

raportate la un utilaj de o anumită construcție, datele privind proiectarea și realizarea mașinilor ultrasonice sînt foarte sumare, iar soluțiile constructive competitive sînt protejate prin patente.

Avînd în vedere această situație cercetarea de față a pornit de la ideea că a reface drumul parcurs de alții de la teorie la realizare practică constituie o cale mult prea lungă în condițiile cerințelor de dezvoltare accelerată a tehnicii de azi, iar abordarea cercetării pe baza unor modele străine ar putea menține dependența noastră de importuri.

Astfel preluînd critic rezultatele tehnologice obținute pe plan mondial, adoptînd o metodă de cercetare care în unele cazuri pornește de la teorie la experiment iar în alte cazuri invers, autorul a urmărit realizarea practică efectivă a unui utilaj de prelucrat cu ultrasunete de concepție proprie orientînd cercetarea de față cu precădere spre aspectele aplicative.

Deși utilajul realizat a fost caracterizat ca model experimental, în construcția lui s-a urmărit adoptarea unor soluții originale care să permită protejarea lor și valorificarea eficientă a cercetării în aplicarea industrială în competiție cu realizările similare din străinătate.

În realizarea acestui obiectiv dificil, dar accentat cu bună știință, autorul a fost confruntat cu o serie de dificultăți începînd de la necesitatea unor cunoștințe aprofundate în domenii distincte cum sînt cele de ultracustică fizică și tehnică, electronică, electrotehnică, vibrații, construcții de mașini, dificultăți legate de lipsa aparaturii specifice de cercetare domeniului abordat, dificultăți materiale și uneori chiar dificultăți legate de atitudini de neîncredere.

Deși abordarea în realizarea tezei a unui singur subansamblu specific mașinilor ultrasonice ar fi fost poate suficient pentru o lucrare de doctorat, s-a considerat că, problema realizării utilajului trebuie tratată unitar datorită, interdependenței funcționale strînse între subansamble (bloc ultrasonic, sistem de avans, sistem de alimentare cu suspensie abrazivă) și datorită faptului că o mașină de prelucrat cu ultrasunete este de fapt un utilaj specializat cu o arie relativ îngustă de prelucrare.

Față de această situație autorul remarcă finalizarea

acestei cercetări prin obținerea unor rezultate încurajatoare, prin brevetarea unor soluții constructive specifice și prin posibilitatea folosirii rezultatelor cercetării și în alte domenii conexe cum sînt sudarea, curățirea, deformarea plastică sau activarea proceselor fizico-mecanice cu ultrasunete, însă nu poate să treacă cu vederea și o serie de nereușite pe parcursul realizării lucrării precum și o serie de rezultate mai puțin concludente accesibile încă perfecționărilor.

În acest spirit, considerînd că o teză de doctorat începe și nu încheie o cercetare serioasă, autorul și-a permis să facă pe parcursul lucrării observații și uneori propuneri privind continuarea și perfecționarea cercetării, avînd în vedere mai ales cuprinderea ei într-un program național privind tehnologiile cu ultrasunete.

În privința terminologiei autorul menționează că cu toată dorința expresă de a utiliza un limbaj unitar, acest aspect a fost practic imposibil datorită faptului că numeroase elemente de acustică aplicată sînt rezultatul unor cercetări de dată recentă pentru care încă nu există un consens unanim privind terminologia.

În partea originală a lucrării s-au folosit cu precădere unitățile sistemului internațional SI, dar au fost folosite în unele cazuri și unitățile sistemelor tolerate mai ales în legătură cu referirile bibliografice sau atunci cînd s-a urmărit posibilitatea comparării rapide și comode a rezultatelor diferitelor cercetări.

Rezolvarea concretă a obiectivelor impuse în teză s-a făcut pe parcursul a 9 capitole în felul următor:

În capitolul 2 se prezintă o serie de elemente teoretice de acustică absolut necesare unei lucrări ce abordează probleme de acustică aplicată.

Capitolul 3 cuprinde o definiție clară și o comparare a posibilităților actualelor modele de prelucrare ultrasonică cunoscute, cu și fără suspensie abrazivă, domeniile de aplicabilitate, realizările cunoscute stadiul actual în țară, limitele și perspectivele procedurii.

În capitolul 4 se prezintă o apreciere critică a celor mai reprezentative teorii cunoscute referitoare la prelucrarea

ultrasonică a materialelor și privitor la principalii parametri tehnologici ce o determină.

Capitolul 5 prezintă metodică de cercetare adaptată de autor, obiectivele pe care și le-a impus precum și obiectul concret al cercetării, adică mașina de prelucrat cu ultrasunete realizată.

Analiza parametrilor constructivi și funcționali în corelație cu parametri tehnologici de bază ai prelucrării, legătura logică dintre aceste elemente și adaptarea în acest fel a unui criteriu de apreciere în proiectare a mașinilor este expusă în capitolul 6. Acest capitol este completat cu o schiță de studiu de optimizare privind elementele de proiectare a mașinilor ultrasonice.

Cercetarea detaliată a subansamblelor reprezentative ale unei mașini ultrasonice de prelucrat este făcută în capitolele 7, 8 și 9.

Capitolul 7 cuprinde date privind tipurile și compunerea blocurilor ultrasonice, materialele utilizate în construcția transductorilor, elemente de calcul și proiectare însoțite de concretizări, tehnologia de execuție utilizată, modul de adaptare a blocurilor ultrasonice la generator și respectiv adaptarea sculelor. Un loc aparte îl ocupă definirea criteriului de eficiență, aprecierea acestuia și încercarea unor blocuri ultrasonice de construcție proprie atât pe bază de transductori metalici (nichel) cât și pe bază de ferite magnetostrictive românești. Capitolul se încheie cu elemente de cercetare privind soluții constructive noi brevetate.

În capitolul 8 se definesc condițiile funcționale de bază ale sistemelor de avans și se prezintă câteva tipuri de bază. Pe baza unor încercări proprii se face verificarea experimentală a parametrului presiune de contact și corelarea acestuia cu condițiile cinematice impuse sistemului de avans. Se justifică alegerea tipului constructiv de sistem de avans pentru mașina realizată și premisele introducerii ciclului de lucru automat în legătură cu problemele de protecție a operatorului față de potențialul efect nociv al ultrasunetelor.

Tot în cadrul acestui capitol se prezintă compunerea comanda și funcționarea sistemului de avans realizat. La fel capitolul se încheie cu câteva elemente de noutate în curs de asimilare.

Capitolul 9 prezintă sistemul de alimentare cu suspensie abrazivă, condițiile funcționale de bază, construcția lui și rezultatele unor încercări.

În capitolul 10 se prezintă rezultatele aplicării industriale a cercetării, perspectivele acesteia și limitele semnalate.

În final se prezintă o serie de concluzii rezultate din rezolvarea obiectivelor impuse.

În încheiere ^{autorul} se gândește cu recunoștință la o serie întreagă de persoane care prin îndrumări, sfaturi sau contribuție directă au susținut reușita unor cercetări pornite cu mari eforturi și îndoieli.

În primul rând autorul exprimă profunda recunoștință pentru conducătorul și coordonatorul acestei teme de doctorat, Profesor emerit Dr. Ing. Gheorghe Savii care a îndrumat permanent autorul în rezolvarea temei, a încurajat finalizarea ei și a susținut orientarea acesteia spre aspectele cu caracter aplicativ. De asemenea autorul se gândește cu recunoștință la colaboratorii din cadrul catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini și catedrei de Mecanică și Rezistența Materialelor cu care a efectuat o serie de cercetări, la personalul tehnic care prin eforturile depuse a contribuit la realizarea practică a mașinii de prelucrat cu ultrasunete și a standurilor.

Autorul își exprimă recunoștința celei care în momentele dificile de incertitudine i-a insuflat curajul, încrederea și conștiința posibilității și necesității realizării acestei lucrări.

2. ELEMENTE SI NOTIUNI DE ULTRAACUSTICA

2.1. Unde și mărimi acustice

Producerea și propagarea printr-un mediu elastic a undelor acustice este determinată de vibrația unui corp definind o sursă acustică și de vibrația particulelor mediului prin care se propagă unda. Undele acustice reprezintă o categorie de unde elastice și dacă au frecvențe ce depășesc limita superioară a frecvențelor audibile, în jur de 16 KHz, ele se numesc unde ultrasonice.

Undele ultrasonice ca și toate undele elastice pot fi de diverse tipuri în raport cu traiectoria pe care o pot avea particulele mediului și cu natura și dimensiunile corpului prin care se propagă.

Intr-un mediu solid elastic și izotrop pot exista mai multe tipuri de unde acustice și anume unde longitudinale la care mișcarea particulei într-un plan al undei se face în direcția de propagare, unde transversale la care mișcarea particulei în planul undei se face după o direcție perpendiculară pe direcția de propagare și în sfârșit atunci când mediul solid este limitat, unde de suprafață sau unde de placă dacă mediul solid se prezintă sub forma unei plăci.

În cazul undelor longitudinale ea se propagă printr-un mediu solid izotrop, extins la infinit viteze de propagare a undei acustice fiind dată de relația

$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\sigma}{1-\sigma-2\sigma^2}} \quad (2.1)$$

în care E este modulul de elasticitate longitudinal ρ densitatea materialului, σ coeficientul lui Poisson, definit ca raportul dintre alungirea (contractia) specifică transversală și contractia (alungirea) specifică corespunzătoare, pe direcție longitudinală adică

$$\sigma = \frac{\Delta d}{d} \sqrt{\frac{\Delta l}{l}}$$

În cazul propagării undelor longitudinale printr-o bară subțire, influența contractiei transversale poate fi neglijată și viteza de propagare a undei se poate calcula cu ajutorul relației lui Newton.

$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.2)$$

In cazul undelor transversale, viteza de propagare a undei este dată de relația

$$C_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (2.3)$$

în care G este modulul de elasticitate transversal.

Atunci când solidul prin care se propagă undele ultrasonice este supus la o solicitare statică se observă o variație a vitezei ultrasunetelor proporțional cu intensitatea solicitării atâta timp cât nu se depășește limita de elasticitate.

Regiunea mediului elastic care se găsește în stare de vibrație fiind sediul unor unde ultrasonice se numește cîmp ultrasonic. Când nivelele energetice atinse sînt mari încît cîmpul ultrasonic interacționează activ cu mediul în care are loc se folosește noțiunea de macrosunete, diferența între ultrasunete și macrosunete fiind deci numai cantitativă.

Frontul undei se poate defini ca locul geometric al punctelor mediului în vibrație care la un moment dat sînt în fază și cum perturbația provocată de punctul material în vibrație se propagă prin mediul elastic sub formă de compresiuni și rarefierii rezultă o variație a presiunii în timp și spațiu.

Considerînd un anumit punct în mediul elastic, presiunea acustică instantanee p_i reprezintă presiunea totală la un moment dat din care se scade presiunea statică în acel punct.

In cazul ultrasunetelor prin folosirea sistemelor focalizante, presiunea acustică poate depăși chiar de zeci de ori presiunea atmosferică.

Presiunea acustică variază în timp și spațiu, iar ecuația undei acustice este dată de expresia

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad (2.4)$$

unde c - viteza sunetului

Soluția generală a ecuației diferențiale a undei acustice poate fi scrisă sub forma

$$p = \psi_1(ct - x) + \psi_2(ct + x) \quad (2.5)$$

în care $\psi_1(ct - x)$ și $\psi_2(ct + x)$ sînt funcții arbitrare, putînd fi funcții sinusoidale, exponențiale, logaritmice etc., forma lor specială corespunzătoare unei situații fizice date depinzînd de modul cum s-a produs perturbația.

În cazul cel mai important și cel mai uzual al unei perturbații sinusoidale, ecuația (2.5) devine

$$p = P_1 e^{jk(ct-x)} + P_2 e^{jk(ct+x)} \quad (2.6)$$

unde P_1 este amplitudinea presiunii corespunzătoare undei plane cu frecvența $f = \omega/2\pi$ propagându-se în direcția x-ilor pozitivi cu viteza C ; P_2 amplitudinea presiunii corespunzătoare undei plane cu frecvența tot $f = \omega/2\pi$ propagându-se în direcția x-ilor negativi cu viteza C ; $k = \frac{\omega}{C} = \frac{2\pi}{\lambda}$ numărul de undă, iar λ lungimea de undă.

Conform cu cele de mai sus

$$\lambda = cT = \frac{c}{f} \quad (2.7)$$

în care T este perioada mișcării, iar f frecvența.

Viteza U și respectiv deplasarea ξ a particulei în jurul poziției de repaus sînt date de relațiile

$$U = \frac{P}{\rho c} \quad (2.8) \quad \text{și} \quad \xi = \int u dt \quad (2.9)$$

În studiile legate de propagarea undelor ultrasonice ^{în} diferite medii pe lîngă presiunea acustică și viteza particulei apar frecvent și alte mărimi.

Presiunea acustică instantanee p_i , anterior definită se măsoară în N/m^2 sau μbari . În calcule și măsurări se folosește presiunea acustică eficace p , care reprezintă valoarea medie patratică a presiunii acustice instantanee într-un interval de timp egal cu o perioadă, într-un punct dat al mediului.

Raportul

$$Z = \frac{p}{U} \quad (2.10)$$

definește o altă mărime și anume impedanța acustică specifică.

Aceasta însă este o mărime complexă deoarece presiunea acustică nu este în fază în general cu viteza particulei. În cazul particular al undelor progresive ce se propagă într-un mediu nelimitat, fără pierderi de energie, presiunea acustică și viteza particulei fiind în fază, impedanță acustică specifică este o mărime reală și ea devine egală cu produsul dintre

densitatea mediului și viteza de propagare a undei acustice adică

$$Z = \rho \cdot c \quad (2.11)$$

Cum această mărime depinde de caracteristicile fizice ale mediului, produsul $\rho \cdot c$ se mai numește impedanță caracteristică a mediului și ea constituie o caracteristică pentru un anumit mediu. Ea este analogă rezistenței electrice a unui conductor.

Cantitatea de energie acustică care străbate în unitatea de timp o suprafață dată normală pe direcție de propagare se numește flux de energie acustică θ , și se exprimă în wați.

Raportînd această cantitate de energie la unitatea de suprafață se obține intensitatea acustică I , exprimată în W/m^2 . Intre energie acustică, fluxul de energie acustică și intensitatea acustică există deci relațiile

$$\theta = \frac{W}{t} \quad ; \quad I = \frac{W}{A \cdot t} \quad ; \quad I = \frac{\theta}{A} \quad (2.12)$$

Măsurarea directă a intensității acustice este dificilă și ea se determină prin intermediul presiunii acustice, între intensitatea acustică și presiunea acustică eficace existînd următoarea relație

$$I = \frac{P^2}{\rho c} \quad (2.13)$$

Din punct de vedere al modului în care radiază energia acustică în spațiu o sursă se poate caracteriza prin : putere acustică, directivitate caracteristică de frecvență, modul de radiație în timp.

Energia acustică totală radiată de o sursă în unitatea de timp se numește putere acustică P și se exprimă în wați.

O sursă care radiază uniform în toate direcțiile produce unde sferice și deci intensitatea acustică va fi dată de relația

$$I = \frac{P}{4 \pi r^2} \quad (2.14)$$

Analog se poate determina presiunea acustică

$$P^2 = \rho c \frac{P}{4 \pi r^2} \quad (2.15)$$

Gradul de directivitate a unei surse sonore poate fi caracterizat prin factorul de directivitate Q , definit ca raportul dintre presiunea acustică eficace, măsurată pe o anumită direcție, la o anumită distanță de centrul sursei, și media presiunilor acustice eficace măsurată la o aceeași distanță, corespunzătoare tuturor direcțiilor de la sursă. În cazul unei surse nedirecționale $Q = 1$.

Pentru o sursă direcțională intensitatea acustică devine

$$I_{\theta} = \frac{P}{4\pi r^2} Q \quad (2.16)$$

Cum în natură domeniul valorilor puterilor surselor sonore este foarte larg în locul scărilor liniare se folosesc scări logaritmice, care au dus la adaptarea unei mărimi noi numită nivel acustic.

Nivelul de presiune acustică L (exprimat tot în decibelii) este dat de relația

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (2.17)$$

unde I - intensitatea acustică și I_0 - intensitatea acustică de referință ($P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$).

Cum diferența dintre valoarea nivelului de presiune acustică și cea a nivelului de intensitate acustică, corespunzătoare aceluiași sunet este neînsemnată (0,2 dB) practic neglijabilă se poate utiliza ori una ori cealaltă mărime.

Nivelul de putere acustică L_p , se exprimă prin

$$L_p = 10 \lg \frac{P}{P_0} \quad (2.18)$$

unde P - puterea acustică iar P_0 - puterea acustică de referință (10^{-12} W).

Undele acustice plane se supun legilor generale ale reflexiei și refracției. De asemenea, în cazul prezenței unui obstacol într-un câmp acustic, poate apărea fenomenul de difracție și difuzie acustică. În propagarea sa printr-un mediu elastic, unda acustică pierde treptat din energia pe care o avea inițial, suferind atenuări.

În cursul lucrării vor apărea o serie de noțiuni de ultracustică tehnică legată de utilajele tehnologice ^{cu} ultrasunete pentru care literatura semnaleză mai mulți termeni acustici, explicabil prin faptul că ultrasunetele de mari energii constituie o preocupare relativ recentă a tehnicii și nu s-a definitivat încă o terminologie unitară. Astfel se semnaleză noțiunea de bloc ultrasonic care este de fapt ansamblul mecanic format dintr-un vibrator și un concentrator avînd rolul de convertor și concentrator al energiei din electrică în acustică și mecanică. Pentru vibrator se întîlnesc chiar pe parcursul lucrării mai mulți termeni și anume cu precădere cel de transductor (convertorul de putere spre deosebire de traductor care este un convertor de semnal), magnetostrictor (cu referiri la ferite și materiale metalice), pachet magnetostrictiv, rezonator. Pentru concentrator se vor mai întîlni și termenii de transformator de viteză, adaptor de undă, sonotrod sau chiar "horn".

Autorul a folosit cu precădere însă termenii de transductor și concentrator, avînd utilizarea și a celorlalți termeni în legătură mai mult cu diversele referiri la *bibliografia* utilizată.

Problema utilizării unor noțiuni de ultracustică unitare din acest punct de vedere constituie o preocupare de prezent a cercetătorilor din țara noastră și a Comisiei de Acustică.

3. PRELUCRAREA ULTRASONICĂ DIMENSIONALĂ A MATERIALELOR DURE ȘI FRAGILE

3.1. Modele de prelucrare ultrasonică a materialelor dure și fragile

Introducerea tot mai accentuată în tehnica modernă a unor materiale cu caracteristici fizico-mecanice speciale la a căror prelucrare se pun probleme deosebite au consacrat în ultimii ani tehnologiile neconvenționale (electroeroziunea, electrochimia, laserul, etc). Printre acestea ultrasunetele s-au impus la prelucrarea materialelor dure și fragile a căror prelucrare prin alte metode este dificilă sau chiar imposibilă.

Prima descriere tehnică a procedurii ultrasonice de prelucrare este conținută în patentul britanic UK Patent No.602801 din 1945 a lui Lewis Balamuth. Față de acest procedeu de laborator următorii ani au consacrat metodele industriale de prelucrare a materialelor cu ultrasunete.

Caracteristicile generale ce definesc prelucrarea cu ultrasunete sînt:

- agent eroziv = suspensie abrazivă
- energie primară = radianță mecanică
- energie distructivă = mecanică, termică, chimică
- mediu ambiant piesei = suspensie abrazivă în lichid

Prelucrarea cu ajutorul ultrasunetelor se bazează în speță pe acțiunea unor procese de eroziune abrazivă și limitat cavitațională dezvoltate în urma transmiterii energiei cinetice a unei scule ce vibrează cu frecvență ultrasonoră unor particule de abraziv aflate în suspensie la locul prelucrării. Aceste particule acționează printr-un mecanism de șoc asupra materialului de prelucrat prelevînd, așchii. Deși mecanismul intim al prelevării, așchiilor la prelucrarea cu ultrasunete a comportat numeroase cercetări (72), (73), (45), (50), (57) formulate prin diverse teorii la ora actuală încă nu avem o teorie olară și completă general admisă a tuturor fenomenelor din timpul prelucrării.

În ultimii ani a apărut ca o variantă a prelucrării ultrasonice, prelucrarea cu sculă diamantată care înlocuiește

suspensia abrazivă ca agent eroziv, însă față de acest mod de prelucrare există rezerve privind definirea lui ca fiind o prelucrare cu ultrasunete.

Se cunosc două modele de prelucrare ultrasonică - prelucrarea cu suspensie abrazivă și prelucrarea fără suspensie abrazivă. Primul procedeu aplicat și mai răspândit se pare și la ora actuală este procedeul de prelucrare ultrasonică cu suspensie abrazivă (figura 3.1.a). Acesta presupune ca asupra piesei ce se supune prelucrării dispusă pe masa mașinii unelte să acționeze un corp solid (scula) vibrat la o frecvență ultrasonică de circa 20-30 KHz prin intermediul unui transformator acustic (concentrator) atașat unui vibrator în legătură cu un generator de ultrasunete. Pentru a se produce prelucrarea, care are loc prin prelevare de material și prin copierea formei sculei, este necesar ca aceasta din urmă să fie apăsată de piesa de prelucrat cu o presiune relativ joasă de circa $0,5-4 \text{ daN/cm}^2$ prin intermediul unui sistem de avans, iar la locul prelucrării să fie adusă o suspensie abrazivă de carbură de bor cu apă, această suspensie jucând rolul agentului de eroziune. Suspensia abrazivă joacă în același timp și rolul cuplajului acustic dintre piesă și sculă precum și rolul agentului de răcire. De obicei concentrația în greutate a suspensiei abrazive este de 50%. Conform acestui model de prelucrare ultrasonică s-au realizat pînă în prezent majoritatea mașinilor de prelucrare cu ultrasunete. Pe aceste tipuri de mașini este posibilă realizarea unei game largi a formei orificiilor prelucrate, precum și prelucrarea unor suprafețe exterioare, debitări și gravări. Modelul prezentat presupune cîteva variante în privința modului de aducere a suspensiei abrazive la locul prelucrării și anume prin simplă stropire, prin absorbție prin sculă respectiv prin refulare prin sculă. Ultimele două moduri de alimentare asigură avantajul unei productivități sporite a prelucrării.

Relativ recent s-a impus modelul prelucrării prin ultrasunete fără suspensie abrazivă care presupune ca în locul alimentării locului prelucrării cu agent abraziv (granule în suspensie) să se folosească acțiunea de erodare pe care poate s-o execute scula ce vibrează cu frecvență ultrasonică. În cazul acesta însă scula trebuie să fie impregnată cu granule de diamant iar între sculă și piesă să se găsească o mișcare

suplimentară de rotație. Condițiile prelucrării sînt și ele schimbate în sensul că amplitudinile de oscilație ale sculei sînt mai mici, valoarea maximă nedeșăgînd limita de $15 \mu\text{m}$ pentru a nu periclita scula, presiunea dintre sculă și piesă fiind admisă la valori mai mari decît în cazul anterior și anume la circa 30 daN/cm^2 pentru productivitatea maximă.

Scula vibrează la o frecvență tot între 20 și 30 kHz și se rotește cu o turație medie de 2000 rot/min. Locul prelucrării este în permanență asigurat de data aceasta numai cu lichid de răcire. Modelul prelucrării fără suspensie abrazivă și cu scule impregnate cu diamant (figura 3.1b) este realizat pe numeroase mașini de construcție relativ recentă asigurînd evidente avantaje însă fără să înlăture colălal model de prelucrare ultrasonică.

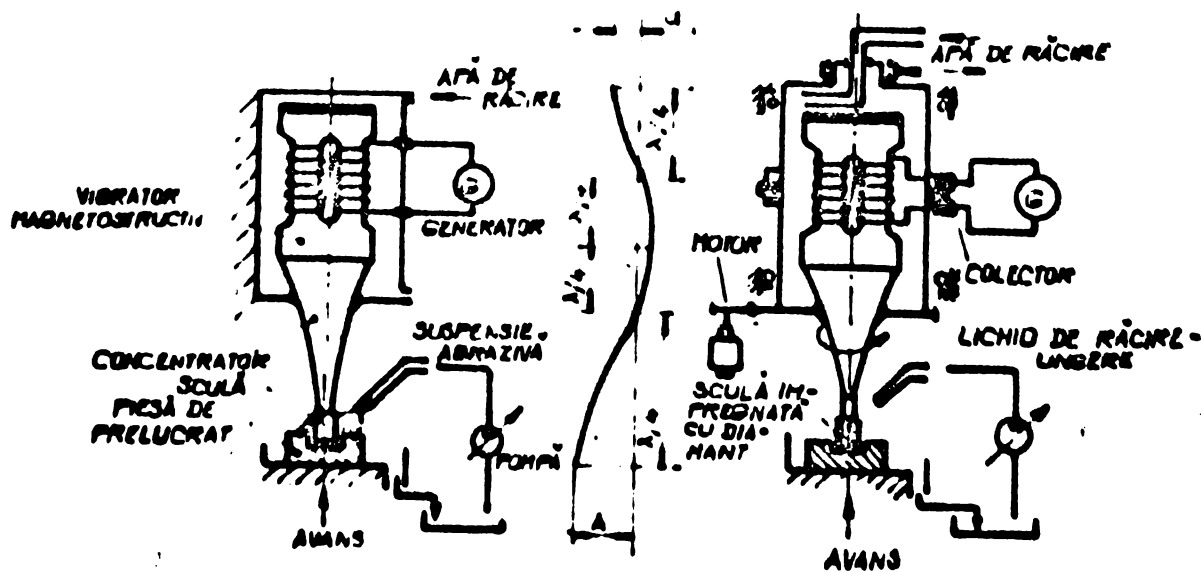


Fig. 3.1.- Modelul prelucrării ultrasonice cu și fără suspensie abrazivă.

Comparînd cele două modele de prelucrare ultrasonică rezultă următoarele concluzii:

Ambele modele de prelucrare ultrasonică asigură o calitate de lucru și productivitate prelucrării după datele de cercetare pînă acum. Ambele modele se potrivește pentru prelucrarea materialelor dure și fragile

- posibilitățile de prelucrare pe mașini cu suspensie abrazivă sînt mult mai largi, orice formă a prelucrării este realizabilă pe cînd la mașinile fără suspensie abrazivă este posibilă realizarea numai a orificiilor circulare sau combinație

a acestora, formele mai complexe impunând mecanismul de generare:

- scula este necombibilă, ieftină și ușor înlocuibilă în sistemul cu suspensie abrazivă în schimb foarte scumpă și chiar pretențioasă la celălalt sistem.

- la sistemul cu suspensie abrazivă alimentarea cu abraziv creează unele dificultăți (pompi nepotabile, pericol de demerare, murdărie etc) pe ctod în cazul sculelor de mare uzor, în schimb apar complicații constructive din cauza necesității rotirii discului ultrasonic la turații relativ ridicate (1000-5000 rot/min).

- în cazul mașinilor cu suspensie abrazivă sînt necesare amplitudinile de oscilație ale sculei mai mari și deci mai greu de obținut decât în cazul sculei fără suspensie abrazivă, dar în acest caz din urză apare și pericolul spargerii sculei la depășirea valorii limită maximo pentru amplitudine.

- presiunea de contact mai mare (30 daN/cm^2) la mașinile ultrasonice fără suspensie abrazivă constituie un avantaj deoarece impune condiții cinematice mai ușoare sistemului de avans.

- nu există date privind uzura sculelor impregnate și o teorie clară a prelucrării.

Din cele prezentate rezultă avantajele și dezavantajele în cazul ambelor modele de prelucrare ultrasonică ceea ce face ca decizia pentru un sistem sau altul să fie luată în funcție de situațiile concrete ce se ivesc pentru prelucrările impuse. De altfel firma Kerry (Anglia) producător de frunte în domeniul aparatului tehnologic cu ultrasunete produce mașini de prelucrat prin ultrasunete pe baza ambelor modele de prelucrare.

De asemenea încă nu dispunem de suficiente date experimentale cu privire mai ales la modelul prelucrării cu sculă diamantată pentru a putea face un studiu comparativ mai complet și cuprinzător.

Oricum trebuie însă să subliniem că din punctul de vedere a foarte mulți cercetători modelul prelucrării fără suspensie abrazivă și cu sculă diamantată de fapt nici nu poate fi considerat ca o prelucrare ultrasonică propriuzisă ci mai degrabă o prelucrare convențională de gaurire ce utilizează scule diamantate activate ultrasonic. Acestei opinii i se asociază și autorul prezentei lucrări.

3.2. Domenii de aplicabilitate. Lizări.

Prelucrarea cu ultrasunete își găsește în tehnica modernă un câmp de aplicabilitate din ce în ce mai larg, impunându-se însă în mod deosebit în prelucrarea materialelor dure și fragile acolo unde tehnicile tradiționale de prelucrare nu dau rezultate satisfăcătoare sau sînt chiar imposibil de aplicat. De remarcă și faptul că prin procedeul prelucrării ultrasonice sînt posibile o gamă variată de configurații a orificiilor sau cavităților prelucrate în cele mai diverse materiale.

Trecînd în revistă lista materialelor ușor prelucrabile prin procedeul ultrasonic trebuie să amintim în primul rînd sticla ca fiind unul din materialele care se pretează în mod deosebit la această prelucrare. Se pot prelucra orificii și cavități de cele mai diverse configurații, înfundate sau străpunse. De asemenea se pot face cu o mare productivitate gravări în sticlă. Productivitatea prelucrării sticlei pe unele mașini ultrasonice a ajuns chiar la valori de $9000 \text{ mm}^3/\text{min}$ (tip 4773 A, U.R.S.S.). Cele mai promițătoare perspective însă le oferă prelucrarea sticlei optice cu foarte bune rezultate. Astfel în industria optică este avantajoasă prelucrarea și fasonarea lentilelor și prismelor.

Literatura semnaleză numeroase exemple de prelucrare a sticlei (50), (58), (12), (16), (82).

Un beneficiar de seamă al rezultatelor prelucrării cu ultrasunete a materialelor fragile este industria electrotehnică unde se pune în mod deosebit problema prelucrării și debitării materialelor semiconductoare, a ceramicilor izolatoare. Cu foarte bune rezultate se aplică procedeul prelucrării ultrasonice la prelucrarea germaniului și a siliciului. Asemenea prelucrării se face și la noi în țară, dar încă cu mașini de import.

În cazul germaniului sau a siliciului s-a ajuns ca cu o singură sculă să se debiteze zeci de pastile pe minut.

Un alt material ușor de prelucrat prin ultrasunete este ferita foarte utilizată în radiotehnică și tehnica de calcul.

Cu rezultate bune se aplică prelucrarea ultrasonică în aeronautică (la materiale dure și fragile), în ceasornicărie, în industria aparatelor medicale unde se pune problema și a prelucrării unor materiale ca rubinul, safirul, stelitul, mica cuarțul și altele.

Prelucrarea rubinului este deosebit de importantă la confecționarea lagărelor de mare precizie și finețe în ceasornicărie și la aparatura de cercetare.

Si industria constructoare de mașini este beneficiarul rezultatelor obținute prin prelucrări ultrasonice mai ales în prelucrarea carburilor de wolfram și a unor forme mai complexe în plăci de metale dure.

Literatura de specialitate semnalează numeroase rezultate care pot fi considerate performanțe în prelucrarea ultrasonică a materialelor. Tăierea discurilor mici din germaniu și siliciu pentru tranzistori cu scule pentru debitare multiplă pe mașini de mare putere a ajuns la zeci de mii de bucăți pe zi (47).

Rezultate remarcabile în prelucrarea ultrasonică a pietrelor prețioase s-au obținut la Laboratoarele Centrale de Studii pentru Pietre Semiprețioase din Leningrad. Laboratoarele de Cercetări ale firmei Rolls Royce au obținut rezultate interesante în prelucrarea componentelor mici de ferită și ceramică necesare mecanismelor speciale de testare. Astfel mici cristale de zirconat de plumb, cuarț și materiale similare au fost tăiate la 0,5mm și 0,05 mm în grosime. Găuri de 0,94 mm în diametru în ceramici de 0,94 mm grosime pot fi tăiate în 5 minute și acelea de 0,3mm într-un minut. O (bobină) bucată de miez de ferită pentru bobină de tip E a fost prelucrată la o singură operație cu o precizie de $\pm 0,050$ mm. În ceea ce privește precizia orificiilor prelucrate aceasta este cuprinsă între $\pm 0,040$ mm la abraziv cu granulația 10 și $\pm 0,003$ mm la micropulberi M40, iar rugozitatea între 12,5 și $0,8 \mu\text{m}$.

Dezvoltări recente au pus în evidență și alte domenii de aplicare a prelucrării cu ultrasunete cum sînt cazurile de prelucrare a materialelor sinterizate și a filierelor din diamant (14) în industria constructoare de mașini precum și prelucrarea bioxidului de uraniu la centralele atomoelectrice.

Este de așteptat ca pe măsura diversificării cererilor de tehnologie în dezvoltarea impetuoasă a tehnicii să apară noi posibilități de aplicare și lărgire a domeniului prelucrărilor ultrasonice.

Totodată o perfecționare continuă a cunoscut utilajul prelucrărilor ultrasunete de la modele experimentale de laborator

pînă la mașini de serie fabricate de firme recunoscute (Branson-SUA, Kerry și Dawe Instruments-Anglia, ENIMS-URSS, Ultrasonaune-masse-Franța, KLN-RFG). De remarcat că deși domeniul de aplicabilitate de abia în ultimii ani a început să se lărgescă, firma Kerry (Anglia) avea vîndute în 1973 peste 3000 tipuri diferite de mașini de prelucrat cu ultrasunete. La ora actuală încă prețurile acestor mașini sînt ridicate și uneori chiar achiziționarea lor condiționată.

Performanțele obținute cu mașinile ultrasonice realizate pînă în prezent și perfecționarea lor în continuare a depins și depinde în mare măsură de progresele înregistrate în fabricarea generatoarelor de ultrasunete compacte și de putere tranzistorizate, de utilizarea unor materiale metalice magnetostrictive noi sau ceramici electrostrictive de înaltă eficiență care să permită încărcări specifice mari (pînă la 50 W/cm^2 și peste) și mai ales de punerea la punct a sistemelor de avans corelate cu condițiile concrete ale prelucrării.

Trecînd sumar în revistă cele mai reprezentative modele de mașini ultrasonice se observă că nu există încă o mașină „bună la toate”, fiecare model prezentînd unele îmbunătățiri sau unele subansamble mai bine puse la punct față de alte modele (tabelul 3.1). Soluțiile constructive mai deosebite sînt protejate prin brevete, fără însă ca posibilitățile de realizare a altor soluții originale să fie îngustate datorită condițiilor specifice ale lucrului la mașinile ultrasonice.

3.3. Stadiul actual în țară, limitele și perspectivele procedurii

Deși în țara noastră există cercetări remarcabile în domeniul ultraacusticii fizice și tehnice precum și numeroase domenii și solicitări de aplicare cum ar fi prelucrarea materialelor semiconductoare, a sticlei obișnuite și optice, a pietrelor prețioase, feritelor, ceramicilor și carburilor metalice totuși nu dispunem de cercetări proprii și mai ales de mașini, fiind dependenți de importuri. Ultimii ani au marcat un reviriment în acest sens prin amorsarea propriilor cercetări și obținerea unor realizări chiar pînă la faza industrială la Institutul de Cercetări Metalurgice București, Institutul Politehnic

Timișoara și Institutul Politehnic București în domeniul tehnologiilor cu ultrasunete. Studiul de oportunitate privind necesitatea și posibilitățile de introducere a tehnologiilor cu ultrasunet în industria noastră (1/6) realizat de I.P.Timișoara și I.P.București și coordonat de I.C.P.T.C.M. București a scos în evidență necesitatea imperioasă a industriei pentru utilajele tehnologice cu ultrasunete în general și pentru mașini de prelucrat cu ultrasunete de construcție proprie în particular precum și posibilități certe privind realizarea lor în țară.

În ceea ce privește limitele procedurii sînt legate de aria relativ redusă de prelucrare, diametrul minim al orificiilor prelucrate și adîncimea lor precum și de vitezele relativ mici de prelucrare și uzura sculei. La ora actuală suprafețele prelucrabile sînt cuprinse între 750 și 2000 mm² (ariile mici pentru aliaje dure) și creșterea lor implică creșteri în puterea de ieșire a generatorului, dar mai dificil a suprafețelor radiante a blocurilor ultrasonice ce impune probleme acustice deosebite. Suprafața transversală a transductoarelor e limitată din cauza pierderilor prin vibrații transversale, iar coborîrea frecvenței de rezonanță sub 16 kHz în scopul măririi suprafeței transversale radiante nu este admisă din considerente de protecție a operatorului precum și de scăderea accelerației granulelor abrazive și deci a eficienței prelucrării. Singura cale este de a perfecționa sistemele constructive ale blocurilor ultrasonice și de a utiliza noi materiale cu proprietăți magnetostrictive sau electrostrictive superioare.

Din analiza rezultatelor obținute pe plan mondial se pare că orificii circulare sub diametrul de 0,5 mm sînt deosebit de dificile din cauza sensibilității mari cerute mecanismelor de avans și a rezistenței la compresiune, flambaj și oboseală a unor asemenea scule. O prelucrare la asemenea dimensiuni este limitată și în ceea ce privește adîncimea prelucrării (max. 10 mm). În ceea ce privește adîncimea prelucrării limitele cunoscute se apropie de valoare de 50 mm. La adîncimi mai mari alimentarea cu agent eroziv devine dificilă și evacuarea produselor eroziunii pe de o parte, iar pe de altă parte limitarea este impusă însăși de natura eculei care poate fi cel mult o sculă în $\lambda/2$.

Productivitatea și calitatea respectiv precizia de prelucrare depind evident de tehnologia adoptată, de parametrii de

prelucrare stabiliți. Deși câmpul de aplicabilitate deosebită a prelucrării ultrasonice îl constituie materialele dure și fragile și în special cele nemetalice, există tendința de a se introduce prelucrarea ultrasonică și pentru unele cazuri de prelucrare a materialelor metalice.

Astfel o serie de cercetători (64) compară acest procedeu chiar cu eroziunea electrică. După datele lor experimentale în comparație cu eroziunea electrică prelucrarea prin ultrasunete raportată la același consum de la rețea arată că metoda eroziunii electrice este de 1 la 2 ori mai productivă și permite prelucrări la suprafețe mai mari în cazul metalelor. La prelucrarea metalelor dure capacitățile de aşchiere la ambele metode sînt deja aproape egale, dar procedeul cu ultrasunete are avantajul decisiv că se poate folosi imediat după prima străpungere, placa din material dur, ca matriță fără o prelucrare ulterioară. Avantajele ultrasunetelor e că dau muchii foarte ascuțite nesolicitate termic. Dacă s-ar folosi eroziunea electrică ar trebui pentru aceasta o finisare ulterioară prin curenți foarte slabi care însă duc la creșterea pronunțată a timpilor de prelucrare încît procedeul poate deveni neeconomic. (Se pare că aceste afirmații nu sînt prea temeinic argumentate și ele necesită un studiu mai complet comparativ al celor două procedee).

După datele firmei Kerry Ultrasonics Ltd. lider în domeniul construcției mașinilor de prelucrat prin ultrasunete, viitorul acestei prelucrări îl constituie combinarea ei cu procedeul electrochimic care oferă un câmp mai larg de aplicabilitate a prelucrării ultrasonice. Totodată se încearcă atunci cînd calitatea prelucrării o permite suprapunerea peste procesul de eroziune ultrasonică a vibrațiilor de frecvență joasă $f = 50-100$ Hz și $\lambda = 0,1-0,5$ mm pentru creșterea forței de impact și a condițiilor de circulație a abrazivului în scopul creșterii capacității productive (ENIMS).

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Tabel 3.1.

| NR. | TIPUL MAȘINI ULTRASONICE | GENERATOR ULTRASONETE(G) | BLOC ULTRASONIC (BU) | SISTEM DE AVANS (SA) | SISTEM ALIM.-SUSP. ABRAZIVĂ (S.A.S.A) | PERFORMANȚĂ |
|-----|--|---|--|---|--|---|
| 1. | Mașină orizontală DIATRON (R.F.G.) - uz industrial - | P = 125, 30, 300, 600 2500 W Acordaj automat pe rezonanță constantă cu tuburi | Cu transducător mag- netostictiv. Dispus orizantal | Plan înclinat. Ghidaj de precizie Sensibilitate 30gr. | Alimentare prin sitopire și cesa-bije Abraziv CB | $\phi_{min} = 0,5mm$ $\phi_{max} = 30mm$ $h_{max} = 20mm$ |
| 2. | Mașină verticală SONORODE 300 Kerry (Anglia) | P = 300 W Control automat al frecvenței Tranzistorizat | Transducător ceram- ic zirconat-titanat Dispus vertical | SA cu acționare hidraulică | Alimentare prin sitopire de la uni- tate separată | — |
| 3. | Mașină verticală, UMT-3 Branson (SUA) - uz industrial - | P = 300 W f = 20 kHz Autoacordare Tranzistorizat | Transducător ceramic zirconat-titanat de plumb. Dispus vertical | SA acționare manuală sau automată cu aer comprimat | Lucrează cu scula impregnată cu dia- mant la turații de 5000rot./min. | $\phi_{min} = 0,6mm$ $\phi_{max} = 36mm$ |
| 4. | Mașină verticală, U250 T Ultrasonnemesse (Franța) - uz industrial - | P = 500 W Autoacordare Tranzistorizat | Transducător ceramic zirconat-titanat de plumb. Dispus vertical | SA cu sistem de conținere și glisieră de presi- cizie | Alimentare prin sitopire S.A.S.A. inor- porat | — |
| 5. | Mașină verticală, 4772 A URSS - uz industrial - | P = 1500 W f = 22 kHz cu tuburi | Transducător mag- netostictiv. Capul vertical. | SA ecotomec- nic cu sistem de compensare a uzurii sculei | Alimentare prin sitopire și țesătură | $\phi = 1-80mm$ $h = 40mm$ $Q_{stabil} = 4000r./min$ |
| 6. | Mașină orizontală URSS (cu 2 poziții) - uz industrial - | P = 1500 W f = 22,5 kHz | Transducător mag- netostictiv bilate- ral. Cap orizontal și 2 mese de lucru. | SA ecotomec- nic cu sist. de sesizare a pozi- ției mesei | Alimentare prin sitopire | — |
| 7. | Mașină verticală, MEU R.S.R. - model experimental - | P = 1000 W f = 22 kHz Frecvență variabilă | Transducător mag- netostictiv. Capul vertical schimbabil. | SA ecotomec- nic cu avans intermitent. | Alimentare prin sitopire, țesătură sau obsorbițe | $\phi_{min} = 1mm$ $\phi_{max} = 30mm$ $h = 50mm$ |

4. PROBLEME TEHNOLOGICE ALE PRELUCRĂRII ULTRASONICE.

4.1. Aprecieri critice privind teoria prelucrării cu ultrasunete și studiul parametrilor tehnologici de bază.

În privința definirii mecanismului de prelucrare ultrasonică și a analizării fenomenelor ce însoțesc sau determină chiar prelucrarea cu ultrasunete, există la ora actuală un număr mare de cercetări. În marea lor majoritate teoriile elaborate se apropie foarte mult de realitate pătrunzând cele mai intime fenomene, însă cu toate progresele realizate nu s-a putut consemna la ora actuală o teorie unitară acceptată în totalitatea ei de toți cercetătorii și specialiștii care lucrează în acest domeniu.

Pentru a putea face o analiză mai amănunțită însoțită de observații critice referitor la mecanismul prelucrării ultrasonice vom consemna cele mai reprezentative teorii considerate de noi și anume cele date de cercetătorii sovietici Markov, Rosenberg, Kazanțev (50), (77) și de cercetătorul american Miller (57).

Cercetările efectuate au arătat că distrugerea materialului la prelucrarea ultrasonică este în cea mai mare parte datorită acțiunii de șoc a sculei asupra particulelor de abraziv. În esență această idee este reluată în majoritatea teoriilor și dezvoltată astfel încât la ora actuală așa numita ipoteză hidrodinamică este considerată învechită și lipsită de temei (57). Ipoteza hidrodinamică atribuia cavității un rol esențial în producerea distrugerilor la materialul prelucrat sub acțiunea șocurilor scurte cu caracter de impuls (100-1000 ata/câteva microsec) provocate de implozia bulelor cavitaționale produse de ultrasunet. Suprafața piesei suferea prin urmare pe lângă procesul de eroziune datorit accelerării particulelor abrazive și o eroziune de natură cavitațională. Susținătorii acestei teorii n-au reușit însă să precizeze niciodată care din fenomenele de eroziune amintite era preponderent și se pare că nici experimentările ulterioare nu au dat suportul necesar

menținerii acestei teorii. Totuși procesele cavitaționale au un anumit rol care însă nu-i prea lămurit. Datorită acestei incertitudini în privința rolului procesului cavitațional în prelucrare, autorul a considerat că denumirea de „prelucrare cu ultrasunete” este mai indicată la ora actuală decât denumirea de „prelucrare abraziv cavitațională în câmp ultrasonor”.

Astfel cercetările efectuate la Institutul de Acustică al Academiei din U.R.S.S. pe plăci de sticlă de 0,1 mm prin filmare rapidă au pus în evidență faptul că prelucrarea ultrasonică a sticlei se observă numai în cazul lovirii directe de către sculă a granulelor abrazive aflate pe suprafața sculei. Se constată că prelucrarea debutează cu formarea unor fisuri în formă de virgulă în timp mai mic de 20 μ sec ca apoi lângă prima fisură să mai apară încă una și prin unirea lor se smulge o particulă de sticlă. Particula smulsă corespunde ca mărime granulei abrazive. Se pare totuși că smulgerea unei particule așa de mari nu este caracteristică prelucrării ultrasonice după majoritatea autorilor (57), (50), (22), (75). (Totuși încercările preliminare efectuate în laboratorul T.C.M. au pus în evidență o degajare pronunțată de aşchii de sticlă de mărimi apropiate de granulele abrazive).

De asemenea s-a arătat că mișcările granulelor sub acțiunea forțelor câmpului sonor și a undelor de șoc formate de implozia bulelor cavitaționale deși au viteze mari de aproape 1,8 m/sec nu duc la distrugerea și erodarea materialului. Se pare că această mișcare a granulelor abrazive provocată în special de cavitație și „vîntul sonor” are rolul de a înlătura particulele smulse și abrazivul măcinat precum și circulația abrazivului proaspăt în zona prelucrării.

Distrugerea materialului prelucrat se produce atunci cînd scula lovește unul sau mai multe granule abrazive care în momentul lovirii sînt așezate astfel că au înălțimea maximă. Probabilitatea smulgerii de material este destul de redusă, majoritatea particulelor au forma triunghiulară de la adîncimi de circa 10 μ m în timp de circa 18 μ sec, (pentru sticlă). Se mai pune în evidență tasarea proeminențelor și reducerea generală a înălțimii microneregularităților. Probabilitatea mică de formare a smulgerilor din material se poate explica prin:

- se observă rar valorile necesare de supraînălțare a unei
le deasupra ra.

- smulgerea se poate ivi numai din loviri repetate a particulei în același loc.

Totodată analiza statistică a repartizării smulgerilor în adâncime și lățime arată că aceste două mărimi sînt practic independente. Prin filmarea procesului s-a stabilit că majoritatea granulelor abrazive care sînt îndepărtate de centrul sculei sînt relativ staționare și numai o parte din ele se deplasează haotic cu viteză ridicată. (În această privință apare evidentă contradicția dintre diverși cercetători deși fiecare argumentează cercetările proprii pe baza experimentelor însoțite de filmarea procesului.) Tot potrivit teoriei de mai sus relațiile teoretice obținute pe baza ipotezei după care scula are acțiunea unui piston formînd o zonă de depresiune spre care începe să se miște abrazivul par lipsite de temei. Cavitația ce apare cel mai intens în zona apropiată de centrul sculei favorizează amestecarea abrazivului și împrăștiindu-l reduce concentrația acestuia în zona de lucru. În această situație aproape $2/3$ din suprafața aflată sub sculă e lipsită de abraziv. (E totuși dificil de adoptat această concluzie pentru sculele mai mici de 3 mm în diametru după cum a reieșit din încercările noastre). De asemenea există interpretări contradictorii la cercetătorii ca Fischer și Rostovțev. Primul încearcă să dovedească rolul cavitației în prelucrarea ultrasonică prin efectul favorabil al încălzirii suspensiei abrazive și a reducerii presiunii la locul prelucrării care după cum se știe sînt factori favorizanți ai cavitației. Dimpotrivă Rostovțev pe baza unor experimentări mult mai bine fundamentate efectuate pe aluminiu și sticlă arată că odată cu creșterea presiunii condițiile de apariție a cavitației se înrăutățesc și înlăturarea materialului crește considerabil atîngînd valoarea maximă la presiunea corespunzătoare înlăturării totale a cavitației. S-ar putea trage deci concluzia că fenomenul cavitațional nu numai că nu favorizează procesul de prelucrare ci îl frînează. Majoritatea cercetătorilor sînt însă de părere că influența cavitației este neînsemnată în procesul de prelucrare ultrasonică.

(În ceea ce privește nu putem subscrie în mod totalitar la una din cele două moduri fundamentale de interpretare a rolului cavitației în procesul prelucrării ultrasonice datorită

faptului că încă nu există suficiente cercetări experimentale aprofundate privind rolul cavitației. Deși sîntem tentați a susține părerea celor care neglijează rolul cavitației în procesul propriu-zis de prelevare a materialului și de a atribui numai un rol de turbionare la locul prelucrării, nu putem să trecem cu vederea și inconsecvențele chiar experimentale ale acestei teorii. Astfel considerăm că experiențele făcute numai cu abraziv fără nici un fel de lichid care exclud cavitația în zona de lucru sînt total ne semnificative și nu se pot compara cu procedeul de prelucrare ultrasonică din cauză că pur și simplu lichidul joacă rolul cuplajului acustic sculă - piesă și el nu poate lipsi).

În cercetările teoretice și experimentale efectuate asupra procesului de prelucrare ultrasonică s-au făcut încercări de determinare analitică orientativă a productivității prelucrării ultrasonice care oglindesc în bună măsură și principiile teoretice de interpretare a diferitelor fenomene ce însoțesc prelucrarea. Așa cum am amintit cele mai reprezentative cercetări în acest domeniu aparțin lucrărilor lui Markov, Rosenberg-Kazanțev și Miller. Vom prezenta în cele ce urmează ideile de bază ale acestor teorii în ordinea amintită a autorilor.

Teoria redată în lucrarea lui Markov (50) pornește de la următoarele două idei de bază:

- scula oscilantă acționează asupra granulelor abrazive prin crearea unor accelerații foarte mari, producîndu-se acțiunea de șoc a granulelor asupra suprafeței de prelucrat. Se poate face o analogie cu procesul de prelucrare hidroabraziv.

- scula oscilantă acționează printr-un șoc direct asupra granulelor care produce îndesarea sau baterea lor în suprafața de prelucrat.

Calcululele orientative au arătat că primul factor are un rol redus (5%) rolul principal avîndu-l factorul al doilea. Cavitația și eroziunea chimică au influență foarte limitată în procesul de înlăturare a materialului.

Se consideră că granula abrazivă are diametrul unei sfere cu diametrul mediu d_a și în acest caz energia cinetică pe care o primește este egală cu:

$$E_a = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{8} \cdot d_a^3 \cdot \rho_a \right) \cdot A^2 \cdot \pi \cdot f^2 = \frac{\pi^3}{12} \cdot \rho_a \cdot d_a^3 \cdot A^2 \cdot f^2 \quad (4.1)$$

În urma șocului granula pătrunde în piesă la adâncimea d_a în care timp acționează forța maximă P . Lucrul mecanic al forței P este produsul $P/2 \times d_a$. Presupunem că anterior momentului de distrugere și desprindere a particulei granula de abraziv a pătruns în adâncime la distanța d_p iar forța de distrugere este P_p . În această situație cu suficientă aproximație putem egala energia cinetică lucrului mecanic de distrugere,

$$\frac{P_p \cdot d_p}{2} = \frac{\pi^3}{12} \rho_a \cdot d_a^3 \cdot A^2 \cdot f^2 \quad (4.2)$$

Tensiunea medie în acest moment este

$$\sigma_c = \frac{P_p}{\pi d_a d_p} = \frac{\pi^2 \rho_a \cdot d_a^2 \cdot A^2 \cdot f^2}{6 d_p^2} \quad (4.3)$$

unde $\pi d_a d_p$ - suprafața de contact granulă-piesă

De aici apoi se obține,

$$d_p = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \cdot \frac{\rho_a^{1/2} \cdot d_a \cdot A \cdot f}{\sigma_c^{1/2}} \quad (4.4)$$

Intr-o primă aproximare putem considera că pentru un material fragil dat productivitatea prelucrării depinde de 4 factori:

1-volumul mediu al particulei desprinse care depinde de dimensiunea și forma granulei abrazive și adâncimea ei de pătrundere.

$$k_1 \cdot (d_p \cdot d_a)^{3/2} \quad (4.5)$$

2-numărul de granule pe unitatea de suprafață a sculei (granule active sînt acelea în contact atît cu scula cît și cu piesa).

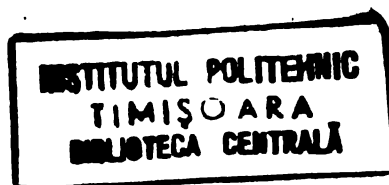
$$k_2 \cdot d_a^{1/2} \quad (4.6)$$

3-probabilitatea desprinderii particulei care-i caracterizată prin coeficientul K_3 .

4-numărul șocurilor exercitate de sculă asupra granulelor abrazive pe unitatea de timp care-i egală cu frecvența de oscilație f .

Atunci productivitatea volumetrică este:

$$V = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \frac{d_p^{3/2}}{d_a^{1/2}} \quad (4.7)$$



Aplicând o serie de simplificări procesului în scopul obținerii unei relații mai cuprinzătoare pentru productivitatea volumetrică și introducând noțiunea de tensiune pe sculă σ' și tensiune pe piesă σ , iar deformațiile dintre, piesă și sculă admitându-le proporționale adică $\frac{dP}{dP} = \frac{\sigma}{\sigma'} = k_4$ obțin

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{4 A_P d_a}{\pi k_2 (1+k_4) \sigma}} \quad (4.8)$$

în care p -forța medie în timpul unui ciclu.

În final obțin pentru productivitatea volumetrică expresia

$$V = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \left[\frac{4 A_P}{\pi k_2 (1+k_4) \sigma} \right]^{3/4} \cdot f \cdot d_a^{1/4} \quad (4.9)$$

în care pentru aprecierea valorii coeficientului k_4 se folosește raportul dintre duritatea piesei și cea a sculei.

Din relație se vede că productivitatea prelucrării ultrasonice este proporțională cu frecvența și amplitudinea oscilației la puterea 0,75, deasemenea cu presiunea statică tot la puterea 0,75. O altă observație rezultată în urma încercărilor experimentale se referă la faptul că productivitatea procesului de prelucrare ultrasonică este invers proporțională greutatei specifice a abrazivului.

Cercetările efectuate asupra procesului de prelucrare ultrasonică la ENIMS au dus la concluzia că cauza principală de distrugere a materialului este acțiunea de șoc a sculei asupra granulelor abrazive. Se consideră că forța statică a avansului determină durata relativă a șocului și pentru forma dată a oscilațiilor are o anumită valoare optimă. Pe cale experimentală s-a dedus dependența puterii ce se degajă în timpul șocului ca funcție de amplitudinea oscilațiilor și de valoarea forței de avans care determină durata șocului. Alte cercetări experimentale efectuate de diverși cercetători (40), (57) nu au reușit să sublinieze pe deplin afirmațiile potrivit cărora productivitatea prelucrării ar fi proporțională cu pătratul amplitudinii oscilațiilor. Cea mai apropiată de realitate după cum arată și experimentările pe diferite materiale este dependența proporțională directă a productivității de amplitudinea oscilațiilor.

Cercetări detaliate asupra procesului de prelucrare ultrasonice și a factorilor care-l determină a efectuat cercetătorul american Miller (57), obținând rezultate concludente în mare măsură confirmate de rezultatele practice ale experimentărilor deși în formularea modelului său a recurs la unele ipoteze simplificatoare. Astfel conform teoriei lui Miller procesul prelucrării presupune trei factori esențiali și anume:

- vibrația longitudinală a unei scule, o piesă apăsată pe sculă și o suspensie abrazivă.

De remarcat este faptul că Miller își formulează teoria în cazul prelucrării materialelor tenace deși acestea nu sînt supuse în mod obișnuit prelucrării, iar cazul materialelor dure și fragile este considerat un caz particular.

În esență se prezintă un mecanism simplificat potrivit căruia particulele abrazive sub acțiunea șocurilor sculei se încrustează în piesă și sculă producînd deformări plastice și ecrusări iar materialul ecrusat este înlăturat prin fisurare și spargere. La materialele ductile procesul ce limitează productivitatea e ecrusarea pe cînd la cele casante depinde numai de mărimea așchiilor și rapiditatea înlăturării lor.

În cercetările lui Miller apare o noțiune definită prin „cantitatea ecrusării” ca fiind raportul dintre cantitatea de deformare plastică ce are loc și cantitatea de deformare plastică necesară ruperii.

Astfel se arată că noțiunea de cantitatea ecrusării depinde de „cantitatea” de deformare plastică, de viteză cu care particulele sînt imprimare în piesa de prelucrat și de capacitatea de ecrusare a materialului piesei de prelucrat. Cantitatea de deformare plastică și ecrusarea depinde de forțele de fricțiune dintre abraziv și piesa de prelucrat, de temperatura piesei, de orientarea individuală a granulelor în piesă. (Acest ultim factor va fi neglijat pentru a menține relația matematică cît mai simplă posibilă).

Admițînd considerentele enumerate mai sus expresia pentru volumul de material înlăturat în unitatea de timp va fi:

$$Q_v = k \cdot (DP) \cdot (NL) \cdot (EDP) \cdot (VD) \cdot (PR) \cdot (R) \quad (4.10)$$

unde

(DP) - deformația plastică cauzată de fiecare particulă pe lovitură.

(NL) - numărul total de lovituri.

(EDP) - cantitatea de ecruisare pe unitatea de deformare plastică.

(VD) - volumul materialului dizlocat la fiecare lovitură.

(PR) - proporția la care fisurile formate sînt relovite.

(A) - gradul acoperirii suprafeței sculei de particule abrazive.

K - constantă de proporționalitate.

După cum se vede relația exprimă în primă instanță o proporționalitate directă între productivitatea volumetrică a prelucrării prin ultrasunete și cei mai importanți parametri care o determină. (Se observă că această relație exprimă o ipoteză simplificatoare în aprecierea fenomenului global al prelucrării ultrasonice și mai ales nu ține cont de unele condiții concrete ale prelucrării cum sînt circulația abrazivului și prelucrarea prin absorbție și refulare. În scopul unei comode urmăririi a ideilor expuse în această teorie și pentru a permite o mai ușoară apreciere critică a celor expuse noi am păstrat în prezentare și definițiile date de el - ex. "cantitate a ecruisării", etc. - chiar dacă ele nu sînt cele mai adecvate din punct de vedere al fenomenologiei).

O expresie aproximativă va fi derivată pentru fiecare cantitate din ecuația (4.10). Se ține cont de faptul că deformația plastică cauzată de o singură particulă abrazivă este proporțională cu tensiunea „plastică” creată în piesa de prelucrat de particulă. Se admite simularea că deformația plastică este direct proporțională cu tensiunea ($\sigma = a \cdot \sigma$). Tensiunea exercitată de o particulă abrazivă acționează o fracțiune a ciclului și astfel ea poate fi considerată o tensiune impulsivă, σ_{imp}

$$\frac{F \cdot \Delta t}{A_t} = \sigma_{imp} \quad (4.11)$$

unde:

F - forța medie de ciclu,

t - perioada de timp cît acționează

A_t - suprafața totală.

Stiind că forța medie pe ciclu poate fi exprimată în funcție de forța totală exercitată de toate particulele F_{tot} și N numărul total de particule, dacă $F = F_{tot} / N$ rezultă forma finală pentru tensiunea (efortul) impulsivă,

$$\sigma_{imp} = \frac{F_{tot} \cdot \Delta t}{N \cdot A t} \quad (4.12)$$

În această situație se pune problema determinării lui N-numărul total de granule abrazive aflate la un moment dat sub sculă. Pentru aceasta se recurge la un model simplificat de lucru care presupune scula imersată în suspensie abrazivă acționând ca un piston sub care ia naștere un vacuum sub forma unui cilindru. Pornind de la acest model și exprimând volumul acestui cilindru prin derivare, și rezolvarea ecuației diferențiale obținute în condițiile de limită și adoptând diferite definiții se obține o expresie explicită pentru N-numărul particulelor abrazive din zona sculei

$$N = \frac{\pi r \cdot A \cdot F_{at} \cdot x}{2f^2 \cdot \rho_a \cdot v \cdot d^3(x+1)} \quad (4.13)$$

unde:

- r-raza sculei
- A-amplitudinea vibrației
- F_{at}-forța "atmosferică" pe suprafața suspensiei
- x-raportul-proporția-masei abrazivului la masa lichidului utilizat ca vehicul ($x = \frac{m_a}{m_v}$)
- f-frecvența vibrațiilor
- ρ_a -densitatea abrazivului
- v-volumul suspensiei în amestecul abraziv-lichid purtător
- d-mărimea particulei abrazive

(După cum se poate observa modelul admis presupune o serie de simplificări pentru ușurarea calculului însă prin aceasta se neglijează destul de mult o serie de factori foarte importanți și anume că în realitate circulația abrazivului e mult mai intensă datorită dirijării jetului și cavităției, apoi nu se ține cont de formarea așchiilor și detagarea lor și mai ales se consideră presiunea de lucru fiind p=0 ceea ce nu-i în concordanță cu realitatea).

Forța F acționează pe un ciclu complet sau pe un interval de timp de $\Delta t = 1/\nu$, iar prin substituție și multiplicând cu t rezultă forța de impuls pe fiecare particulă $F_{imp} \cdot (F_{imp} = F \cdot \Delta t)$

$$F_{imp} = \frac{F_{total}}{\frac{\pi r A F_{at} \cdot x}{2\nu^2 \rho_a \cdot v d^3(x+1)}} \cdot \frac{1}{\nu} = \frac{2F_{total} \cdot \nu \cdot \rho_a \cdot v \cdot d^3(x+1)}{\pi r A F_{at} x} \quad (4.14)$$

Admițând că fiecare particulă abrazivă este dată de d^3 , efortul impulsiv este dat de relația

$$\sigma_{imp} = \frac{F_{total}}{N \cdot A_t} \cdot \Delta t = \frac{2F_{total} \cdot \nu \cdot g_a \cdot v \cdot d (x+1)}{\pi r A F_{at} \cdot x} \quad (4.15)$$

Adâncimea la care particulele abrazive sînt conduse în piesa de prelucrat depinde direct de σ_{imp} și invers de minimul efortului pentru care curgerea plastică are loc. Introducînd noțiunile de vector a lui Burger B și modulul de elasticitate transversal G se obține pentru adâncimea pătrunderii particulelor de abraziv.

$$H = k_2 \cdot \sigma_{imp} \cdot \frac{d}{k_1 \cdot G \cdot B} \quad (4.16)$$

unde k_1 și k_2 sînt constante de proporționalitate. Cantitatea de deformării plastice cauzată prin în crustarea unei particule abrazive la adâncimea H se definește atunci ca fiind produsul adâncimii cu secțiunea transversală a particulei. (Hxd^2).

$$(DP) = Hd^2 = k_2 \cdot \sigma_{imp} \frac{d^3}{k_1 \cdot G \cdot B} = 2k_2 \frac{F_{total} f_{ga} v d (x+1)}{k_1 \cdot G \cdot B \pi r A F_{at} \cdot x} \quad (4.17)$$

Ecuatia (4.17) dă deformația plastică cauzată de o particulă la o lovitură. Numărul acestor fenomene ce au loc într-o secundă este dat de produsul ecuației (4.13) și frecvența vibrației f . Deci numărul total de lovituri pe secundă este

$$(NL) = N \cdot \nu = \frac{\pi r A F_{at} \cdot x}{2 \nu g_a v d^3 (x+1)} \quad (4.18)$$

Cantitatea de ecruisare ce are loc pe unitatea de deformare plastică este invers proporțională cu capacitatea de ecruisare q și direct proporțională cu viteza de deformării, iar aceasta din urmă este direct proporțională cu frecvența vibrației.

$$(EDP) = k_3 \frac{f}{q} \quad (4.19)$$

unde k_3 este o constantă de proporționalitate.

Volumul de material înlăturat de fiecare particulă este proporțional cu aria prezentată. la suprafața piesei de particulă și înălțimea particulei, deci

$$(VD) = k_4 d^3 \quad (4.20)$$

unde k_4 este o constantă de proporționalitate.

Proporția la care materialul este înlăturat prin spargere depinde numai de numărul timpului (perioada de timp) cît piesa de prelucrat este lovită pe secundă, deci

$$(PR) = f \quad (4.21)$$

Un alt factor ce trebuie luat în considerație este proporția acoperirii suprafeței sculei de abraziv. În acest sens Miller³ admite pe baza observațiilor experimentale un model simplificat potrivit căruia prelucrarea se produce cu un mic inel în jurul periferiei sculei și se continuă sub o gaură de formă inelară ce se formează în piesa de prelucrat. Când această gaură este destul de adâncă să conțină abrazivul tot timpul, abrazivul va începe să curgă sub sculă spre marginea interioară a inelului, și prelucrarea va începe în alt inel interior primului. Proporția (raportul) la care întreaga suprafață a sculei este acoperită de particulele abrazive, este proporțională cu partea fracționară din suprafața sculei acoperită de primul inel, numărul de particule n pe unitatea de suprafață din inel și frecvența de vibrație. Astfel se obține

$$(A) = k_5 \frac{A \cdot Fat \cdot x}{2rd^3fpv(x+1)} \quad (4.22)$$

unde k_5 este o constantă de proporționalitate.

Acest mecanism al acoperirii suprafeței sculei a fost parțial verificat prin observații microscopice pe sticlă prelucrată. Substituind expresiile găsite în ecuația (4.10) obținem pentru capacitatea productivă a prelucrării expresia

$$Q_{v\phi} = k_0 \frac{p \cdot d \cdot A \cdot Fat \cdot x \cdot f}{qGB \cdot r \cdot \rho_a v(x+1)} \quad (4.23)$$

După cum se desprinde din analiza relației de mai sus se confirmă ipoteza general admisă potrivit căreia productivitatea prelucrării ultrasonice Q depinde direct de frecvența de oscilație f , de amplitudinea oscilației A , de presiunea de contact sculă-piesă p și de dimensiunile granulei de abraziv d . Totodată reiese că productivitatea prelucrării ultrasonice depinde invers de raza sculei r , de densitatea granulei de abraziv ρ_a , și de capacitatea de ecruisare q .

Experimentările efectuate de Miller pe diferite materiale nu confirmat în mare măsură rezultatele teoriei sale, și anume că capacitatea productivă crește liniar cu d și A . În ceea ce privește presiunea de contact se constată la Miller

că productivitatea crește la început liniar ca apoi să rămână practic constantă cu creșterea presiunii. Acest rezultat vine în contradicție cu rezultatele lucrărilor lui Nappiras și Kazanțev la care capacitatea productivă a prelucrării marchează un maximum pentru o anumită valoare după care ea scade accentuat. (Incercările noastre în ceea ce privește rolul presiunii de contact au pus în evidență o situație intermediară și anume că capacitatea productivă crește la început aproape liniar cu presiunea, atinge un maxim după care urmează însă o scădere lină a capacității productive se pare mai mult datorită efectului de amortizare a sistemului vibrator și a tendinței de deplasare a frecvenței de rezonanță).

Tot din teoria dezvoltată de Miller reiese influența materialului de prelucrat și a caracteristicilor suspensiei abrazive (natură, dimensiuni, concentrație, mod de alimentare). De asemenea s-a definit și un factor de formă a sculei ca fiind raportul dintre perimetrul și suprafața sculei arătându-se că capacitatea productivă a prelucrării este direct proporțională cu acest factor. (Incercările noastre redată în paragraful 8.2 nu au confirmat această presupunere).

O altă teorie dezvoltată și confirmată în mare parte de rezultatele experimentale este aceea a lui Kazanțev și Rozenberg. Si în lucrările acestor autori ca și la alții se caută să se găsească legătura între productivitatea prelucrării Q și f , A , p aceștia fiind considerați factorii determinanți ai prelucrării.

Modelul prelucrării elaborat de cei doi (77) presupune următoarele:

- suprafața sculei se găsește într-o mișcare de oscilație în imediata vecinătate a piesei de prelucrat și în contact cu aceasta. Scula vine în contact în prima etapă cu o serie de particule mari de abraziv pe care le încrustează în suprafața piesei, și de asemenea în suprafața sculei într-o mai mică măsură. Cum scula termină mișcarea lângă suprafața de prelucrat ea vine în contact cu un număr mai mare de granule, capacitatea de reacție a fiecărei granule de asemeni crește și fiecare contribuie la distrugerea suprafeței de prelucrat. Distanța dintre suprafața sculei și suprafața prelucrată a avut o valoare definită care depinde de "forța de împănare".

Admițind și dezvoltând un model matematic potrivit teoriei

de distrugere a materialului adoptată, și verificând și experimental aceste presupuneri autorii găsesc în final o relație între volumul înlăturat și media forței de impuls

$$V \simeq F_{imp}^{2,5} \quad (4.24)$$

Cercetarea dinamicii fenomenului de prelucrare ultrasonică și urmărirea lui prin metodele de filmare rapidă au permis pe baza determinărilor statistice să se tragă concluzia că dezvoltarea fisurilor este un proces întâmplător iar coordonarea intervalelor dintre fisurile succesive este în plină concordanță cu legea lui Poisson adică $n_z = \bar{n} e^{-\bar{n}z}$ unde z este intervalul de timp dintre fisuri iar \bar{n} este numărul mediu al fisurărilor pe unitatea de timp. Cu creșterea forței de apăsare această medie a numărului de fisuri crește. O forță de apăsare mai mare înseamnă o mai mică distanță între suprafețe și ca urmare mai mare este adâncimea maximă a fisurilor.

Pentru cazul particular al prelucrării sticlei cu carbură de bor de granulație 80-120 μm s-a găsit că capacitatea productivă a prelucrării este proporțională cu cubul tensiunii de vîrf,

$$Q = \sigma_m^3 \quad (4.25)$$

Tensiunea de vîrf depinde de amplitudinea de vibrație, de presiunea de contact și de alte cîteva variabile. Tensiunea în timpul lucrului are un caracter pulsator. Tensiunea instantanee crește gradat de la 0 la un maxim și apoi scade din nou la 0, în ritmul frecvenței de oscilație a sculei.

Schimbarea amplitudinii sau presiunii de contact schimbă tensiunea maximă și durata pulsației. Dar în orice condiții maximul tensiunii în timpul impactului depășește presiunea statică de cîteva ori.

Ca și un rezultat al experimentărilor s-a stabilit o relație empirică a vîrfurilor de tensiune în cursul impactului în funcție de amplitudinea de vibrație și presiunea statică,

$$\sigma_m = k(A^2, p)^{1/3} \quad (53)$$

unde K este o constantă de proporționalitate care depinde de mărimea abrazivului și proprietățile fizice ale suprafeței prelucrate și a sculei. (A amplitudinea vibrației iar p presiunea statică).



Incercări de descriere a mecanismului prelucrării cu ultrasunete și exprimarea factorilor ce determină eficiența prelucrării se găsesc la mulți cercetători (6), (45), (64) cu concluzii similare sau apropiate de cele rezultate din teoriile anterior descrise. Fie că se introduce noțiuni ca forța de percuție (40) care-i condiționată de produsul $A \times p$, sau noțiunea de putere degajată în timpul șocului, în final la toți cercetătorii se admite că capacitatea productivă a prelucrării e determinată într-o anumită situație a prelucrării (material, sculă și piesă) de frecvența oscilațiilor, amplitudinea lor, presiunea de contact și caracteristicile suspensiei abrazive, acestea fiind parametri de bază ai prelucrării.

Ceilalți indicatori, precizia și calitatea prelucrării sînt determinați în mică măsură de acești parametri și mai mult de suspensia abrazivă utilizată.

5. OBIECTUL, MATERIALUL SI METODICA DE CERCETARE

5.1. Metodica de cercetare și problemele puse

Dacă în privința fenomenului intim al prelucrării ultrasonice și a datelor privind tehnologia de prelucrare dimensională se poate vorbi în mai mare măsură de precizări și clarificări admise pe baza cercetărilor teoretice și experimentale cunoscute, în privința construcției propriuzise a echipamentului tehnologic (utilajului) datele de care dispunem sînt mai sărace sau puțin concludente, iar majoritatea soluțiilor constructive cuprinse în cinematica mașinilor ultrasonice ce s-au impus pe piața mondială sînt protejate prin patent.

Deși multe probleme de proiectare a utilajului au fost puse la punct, datorită complexității problemelor ridicate există încă multe aspecte mai puțin elucidate, date uneori contradictorii, relații de calcul insuficient de concludente referitor la construcția și funcționarea blocurilor acustice și a sistemelor de avans. Chiar numeroase date tehnologice sînt raportate la utilaje cu caracteristici și posibilități diferite.

În această situație problema prelucrării ultrasonice prezintă numeroase semne de întrebare atît din punct de vedere al fenomenologiei, al tehnologiei cît mai ales din punct de vedere al realizării utilajului.

Față de această situație cercetarea de față ^{pleacă} practic de la ideea că nu dispunem încă în țară de utilaje de prelucrare dimensională cu ultrasunete a materialelor dure și fragile, deci nu există o experiență tehnologică și de proiectare proprie, iar pe de altă parte de la ideea că a relua și a reface drumul parcurs de alții de la teorie la experiment și de la experiment la prototip constituie o cale mult prea lungă în condițiile cerințelor de dezvoltare accelerată a industriei de azi.

S-a impus astfel adoptarea critică în prezenta teză a rezultatelor tehnologice obținute pe plan mondial pe baza căror autorul a considerat utilă proiectarea și realizarea unui model experimental de mașină cu posibilități cît mai diverse de prelucrare, încercare și studiere. Acest model permite punerea la punct a unei tehnologii corelată cu elementele constructiv - funcționale ale utilajului. Totodată s-a mers pe ideea că chiar

pentru modelul experimental este utilă adaptarea unor soluții constructive proprii, pe cât posibil originale pentru a permite protejarea lor și valorificarea eficientă în competiție cu alte utilaje de acest gen. Prin aceasta s-a urmărit crearea unei baze materiale pentru cercetări ulterioare și pentru construirea primului prototip industrial.

Acestea sînt *motivele* pentru care prezenta lucrare este orientată cu precădere spre o cercetare cu caracter aplicativ.

Ideea încercărilor pe un utilaj de import nu s-a putut realiza din cauza prețului ridicat a unui astfel de utilaj, utilaj de obicei de serie cu posibilități limitate în manevrare și reglare la diferite condiții de încercare, respectiv un astfel de utilaj poate conține elemente constructive ce ar putea face cercetarea noastră dependentă în continuare de import.

5.2. Materialalele și obiectul cercetării.

Avînd în vedere considerentele enunțate autorul a proiectat o mașină de prelucrat cu ultrasunete tip model experimental, realizată în laboratorul de Tehnologia Construcțiilor de Mașini-Facultatea de mecanică Timișoara. Mașina este înzestrată cu posibilități mai largi de prelucrare dimensională pentru diferite tipuri de materiale. Acest model experimental destinat cercetărilor și încercărilor fără a urmări în primul rînd eficiența prelucrării oferă posibilități comode de studiu a parametrilor constructivi, funcționali și tehnologici prin însuși modul în care s-a conceput. Astfel este posibilă schimbarea comodă a caracteristicilor cinematice a unor subansamble datorită modului de realizare cît și a posibilităților de atașare a unor subansambluri sau dispozitive suplimentare necesare diferitelor încercări în diferite condiții.

Urmărind elementele caracteristice ale acestei mașini se remarcă că blocul ultrasonic (B.U.) este dispus pe un suport vertical cu traverse deplasabile pe *orizontală* și pe verticală și *cu posibilitatea* a înlocuirii lui.

Sistemul de avans (S.A.) este conceput pe baza unui element traductor de sesizare a forței de apărare interschimbabil, pe baza posibilităților de atașare a unor mișcări suplimentare a mesei (rotire sau avans în contratimp) și pe baza urmării comode a acestora în timpul prelucrării. Sistemul de alimentare cu

suspensie abrazivă (SASA) este conceput pentru a realiza toate trei ciclurile și anume atropire, absorbție sau refulare prin nouă. Generatorul de ultrasunete (G) permite de asemenea adoptarea unor frecvențe de lucru variabile la puteri diferite necesare în cazul experimentărilor. Ciclul de lucru adaptat pe mașină poate fi comandat manual sau automat. Schema cinematică a mașinii de prelucrat cu ultrasunete - model experimental realizată este redată în figura 5.1. În figura 5.2. este redată fotografia de ansamblu a mașinii și a generatorului de ultrasunete, iar în figurile 5.3 și respectiv 5.4. fotografiile asupra părții privind sistemul de avans (SA) respectiv asupra părții privind sistemul de alimentare cu suspensie abrazivă (SASA) și a unei părți din elementele de comandă. Elementele conexe de protecție și datele tehnice sînt cuprinse pe larg în proiectul tehnic al mașinii întocmit de autor.



Fig. 5.2. Vedere de ansamblu al mașinii de prelucrat cu ultrasunete și generatorului.

Pentru a se putea urmări metodică de studiu și problemele tratate se descriu succint principalele subansamble ale mașinii.

Generatorul de ultrasunete (G)

Generatorul de frecvențe ultrasonore joase funcționează

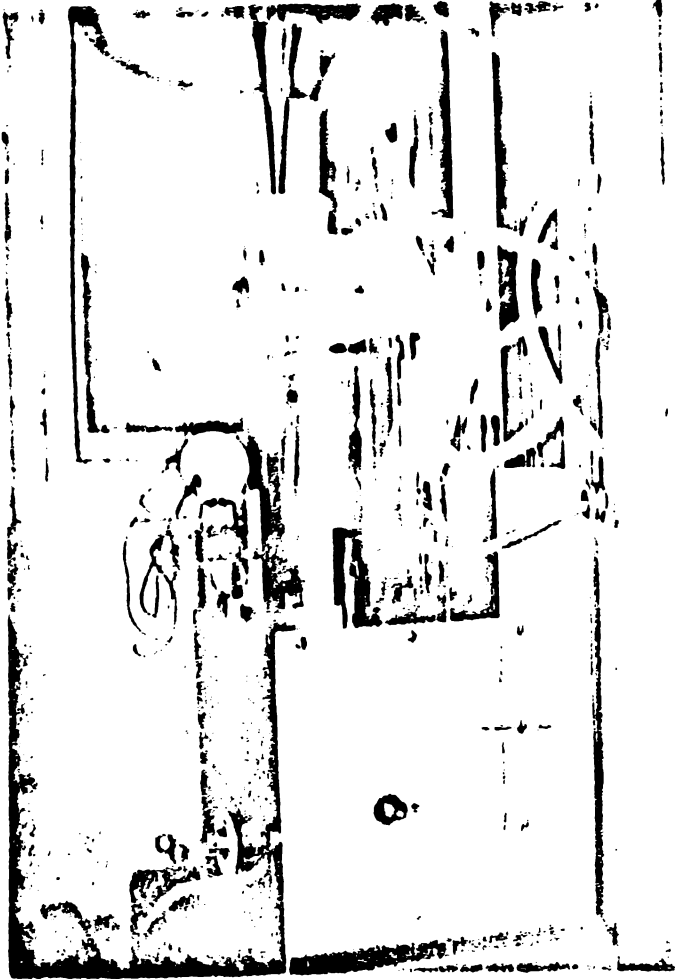


Fig. 5.3. - Detaliu privind mecanismul de avans (SA)



Fig. 5.4. - Detaliu privind sistemul de alimentare cu suspensie abrazivă (SASA) și o parte din elementele de comandă

În gama de frecvențe cuprinsă între limitele 19-107 kHz, întreaga gamă fiind împărțită în trei subgame:

19 - 33; 29 - 53,5; 54,5 - 107 kHz

Puterea de ieșire a generatorului (când sarcina este o impedanță corect adaptată) este de 1500 W pe o impedanță de ieșire de 10Ω sau 40Ω existând posibilitatea unei reglări a puterii de la zero la valoarea maximă.

Alimentarea generatorului se face de la rețeaua de curent alternativ trifazat cu o tensiune de 3×380 v, 50 Hz. Puterea absorbită de la rețeaua de alimentare este de circa 4,5 Kw atunci când se debitează puterea utilă maximă.

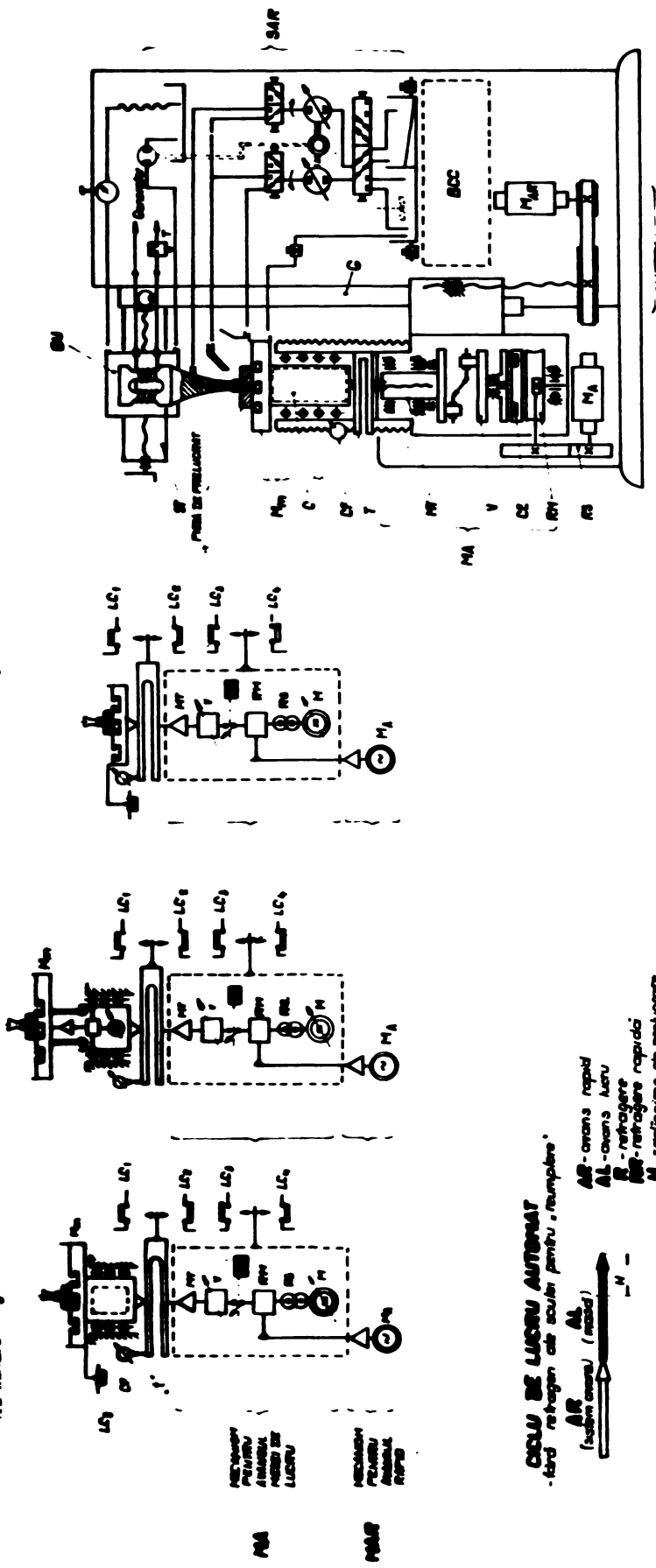
Descrierea tehnică

Conform schemei bloc prezentată în figura 5.5 generatorul se compune din:

- oscilator pilot
- etaj preamplificator
- etaj pilot
- etaj final

SCHEMA STRUCTURALĂ A MECANISMULUI DE AVANS AL MASII DE PRELUCRAT CU ULTRASUNETE ȘI PUNTEA LITRATORILOR DE CANTĂ

VARANTA I (cu schimb de greutate a masei)
VARANTA II (cu mecanism de avans în contrastiv)
VARANTA III (fără schimb de greutate a masei)



CICLU DE LUCRU AUTOMAT
 - fără retragere de sulci pentru "umplere"



AR - avans rapid
 AL - avans lucru
 R - retragere
 M - retragere rapidă
 N - schimbare de prelucrare

CICLU DE LUCRU AUTOMAT
 - cu retragere de sulci pentru "umplere"



LEGENDA :

- BU - bloc ultrasonic
- SU - suport structural
- F - firmament
- Mm - masa masini
- C - cilindrul de ghidare cu spațiu pentru masa rotativă și cântar
- Cf - comparator cu fabricație
- MT - motorul tractorului răsucimăbabil
- V - mecanism de transformare a mișcării de rotație în mișcare de translație
- CZ - cutie electromagnetice
- NY - reductor mecanic
- Rg - reț. de schimb
- Mg - motor pentru mecanismul de avans
- Mg - motor pentru avansul rapid al sistemului
- G - ghidaj
- MA - mecanism pentru avansul masei de lucru
- MAR - mecanism pentru avansul rapid
- SAR - sistem de alimentare cu suspensie avansată și robote
- BCC - blocul elementelor de comandă și control

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|

Fig. 5.1.- Schema cinematică a mașinii de prelucrat cu ultrasunete - model experimental.

INSTITUTUL POLITEHNIC
 TIMIȘOARA
 BIBLIOTECA CENTRALĂ

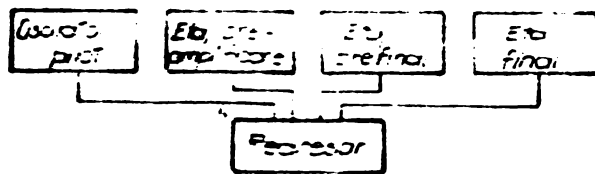


Fig. 3.5. Schema bloc a generatorului

Etajul oscilator este echipat cu un tub O3 - 16 și un indicator optic al stării de oscilație EM-4. Oscilatorul este de tip L-C cu cuplaj electronic. Aordarea se face cu ajutorul unui condensator variabil, iar trecerea de la o gamă de frecvențe la alta se realizează cu ajutorul unui comutator cu trei poziții.

Etajul preamplificator a fost realizat cu un tub $\Gamma Y - 50$ având circuitul anodic aordat. Acest etaj este comandat de oscilatorul pilot prin intermediul unui potențiomtru realizându-se astfel reglajul amplificării de la zero la valoarea maximă.

Etajul prefinal este echipat cu două tuburi $\Gamma Y - 50$ legate în paralel având circuitul anodic nenaordat. Funcționând în clasa C acest etaj asigură puterea necesară pentru comandarea etajului final de 1,5 kw.

Etajul final echipat cu două pentode de putere $\Gamma Y - 80$ legate în paralel, lucrează în clasa C având în circuitul anodic un transformator de legire cu alimentarea în derivație. Pentru adaptarea corectă a sarcinii (transductoare magnetonctive) s-au prevăzut două prize la transformatorul de legire de 10Ω și 40Ω , trecerea de la impedanță la alta, făcându-se cu ajutorul unui comutator.

Unitatea de alimentare a generatorului (redreorul) este echipat după cum urmează :

- 3 tuburi redresoare cu vapori de mercur tip 50 105 pentru alimentarea etajului final la o tensiune anodică de 3000 V
- 3 tuburi redresoare cu vapori de mercur de tip 4/025 pentru alimentarea etajului prefinal și preamplificator la o tensiune de 750 v.

1 tub redreor tip 5U 3 C și un tub stabilizator de tensiune St_R 280/40 pentru alimentarea oscilatorului pilot cu o tensiune stabilizată de 280 V.

- 1 tub redreor tip IV 200/600 care asigură tensiunile de negativare necesare diferitelor etaje ale generatorului prin intermediul unui divizor de tensiune.

Blocul ultrasonic (BU)

Este amplasat la partea superioară a mașinii de prelucrat cu ultrasunete într-o carcasă a cărei răcire se realizează printr-un circuit separat cu posibilitate de racordare la rețeaua de apă curentă. Poziționarea lui se poate realiza atât în plan orizontal cât și pe verticală. Având în vedere interschimbabilitatea blocului ultrasonic, impusă de cercetări precum și de soluția de ansamblu adoptată s-a renunțat la soluția des utilizată de a o atașa blocului ultrasonic și mișcarea de avans. Soluția cu avans la BU ar duce la complicații constructive mai greu de depășit impunând și elemente de echilibrare în plus.

Blocul ultrasonic este fixat în carcasă fie în nodul de oscilație al transductorului fie în nodul concentratorului (varianțe).

Sistemul de avans (SA)

Fig

Acționează asupra mesei mașinii realizând avansul pe verticală și este compus din 2 mecanisme independente cinematic și constructiv și anume mecanismul pentru mișcările de avans rapid (apropiere și retragere rapidă) a subansamblului mecanismului propriu zis de avans și mecanismul de avans propriuzis al mesei care realizează avansul de lucru și retragerea rapidă a mesei mașinii din poziție de lucru.

Mecanismul de avans rapid e acționat de un motor electric asincron trifazat prin intermediul unei transmisii cu curele ($i = 3$). Suportul central acționat de acest motor se deplasează pe ghidaje în coadă de rîndunică fixate pe cadrul sudat al mașinii, deplasarea lui fiind limitată de microfînterupătoare de cale deplasabile (schema electrică). Mecanismul de avans MA al mesei se compune din masa mașinii realizată din aliaje de aluminiu (schimbabilă) susținută de un sistem pe bază de cilindru de ghidare amplasat pe suportul sistemului de avans. În interiorul cilindrului de ghidare se pot plasa mecanismul de avans în contratimp sau mecanismul de rotire al mesei mașinii cu acționare independentă. Printr-un element amortizor (impus de cinematica prelucrării) cilindrul e în legătură cu un traductor de forță dinamometric interschimbabil calculat și dimensionat pentru clasa 2-a de precizie ($P_{\max} = 50 \text{ kgf}$). Mărimea deformației dinamometrului este sesizată de o fotodiodă DF ce comandă

cuplarea sau decuplarea unui cuplaj electromagnetic incorporat într-un reductor melcat (RM). Atât cuplajul electromagnetic cât și reductorul sînt de construcție proprie avînd în vedere cerințele impuse de mișcarea de avans. Mișcarea e primită la reductorul melcat prin intermediul unui set de roți de schimb acționat de un motor de curent continuu cu puterea de 80 w și o turație reglabilă în limitele 800-4000 rot/min. La un raport de transmisie a reductorului $i = 100$ și domeniul de reglare $G = 6$ a variatorului frontal cu role rezultă un reglaj al vitezei de avans de la 0 la 30 mm/min. (Viteza nulă rezultă ca urmare a frecărilor și inerției). Pentru a se obține un ciclu de lucru cu un avans cu o frecvență redusă a secvențelor sau intermitențelor (cuplărilor) se impune un reglaj inițial al presiunii optime de lucru de la comparatorul cu fotodiodă CF etalonat, reglajul grosolan al vitezei de la variatorul V, reglajul fin de la circuitul de excitație al motorului M.

De remarcat că-n construcția mecanismului de avans de tip intermitent s-au utilizat la maxim posibil elemente constructive ușor procurabile sau uzuale renunțîndu-se la elementele speciale sau costisitoare.

Sistemul de alimentare cu suspensie abrazivă (SASA).

Sistemul utilizează pompe de cea mai simplă construcție atât pentru realizarea funcțiilor de pompare cât și pentru absorbție a suspensiei de abraziv înlăturînd astfel utilizarea pompelor speciale de vid, costisitoare și care nu totdeauna își justifică utilitatea pe aceste tipuri de mașini.

Sistemul e format din 2 pompe reversibile cu debit variabil (vezi fig.5.4) sub 10 l/min, cu tub elastic și reversibile. Se pot regla și debite pulsatorii favorabile prelucrării și evitării depunerilor.

Pompele sînt antrenate de la un motor prin transmisii cu curele cu raportul $i = 3$ și sînt în legătură prin intermediul unor distribuitoare cu masa mașinii și două rezervoare, unul cu suspensie abrazivă celălalt cu apă de curățire.

Cadrul general al mașinii este realizat ca și o construcție sudată pe bază de profile U și corniere pe care se găsesc montate toate subansamblele mai sus amintite precum și elementele de comandă și control.

Un deziderat avut în vedere de autor este de a se putea trece relativ ușor de la sistemul de bază proiectat la o mașină cinematică asemănătoare pentru realizarea unui prototip industrial de concepție proprie.

În încheierea paragrafului se prezintă mostre prelucrate la diferite forme și dimensiuni în diferite materiale (fig. 5.6, 5.7, 5.8) pe mașina de prelucrat cu ultrasunete.

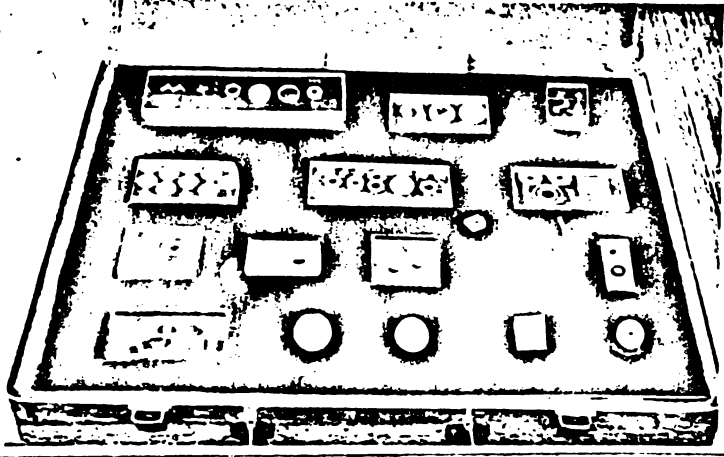


Fig. 5.6- Mostre de sticlă, ferită, ceramică, grafit și oțel dur prelucrate cu ultrasunete

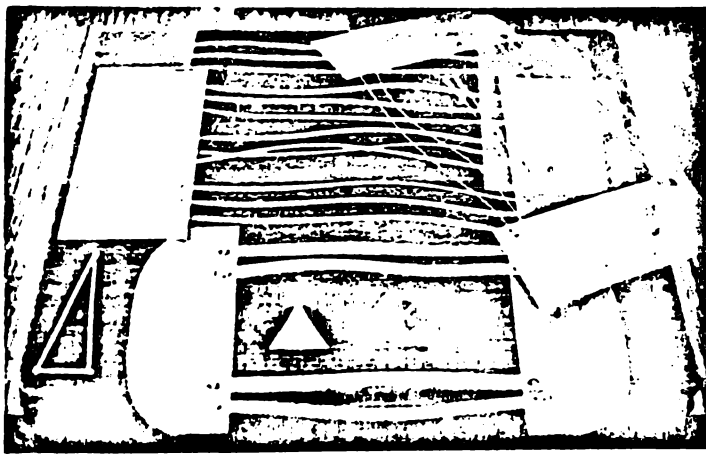


Fig. 5.7- Izolații de fază din poliester sudate cu ultrasunete



Fig. 5.8- Capac de intrerupător nituit și sudat prin ultrasunete

6. ANALIZA PARAMETRELOR CONSTRUCTIVE SI FUNCTIONALE IN CORELATIE CU PARAMETRII TEHNOLOGICI AI PRELUCRĂRII ULTRASONICE .

6.1. Studiul construcției mașinilor ultrasonice în legătură cu parametrii tehnologici de bază ai prelucrării.

În cazul prelucrării ultrasonice cu suspensie abrazivă productivitatea sau mai corect capacitatea productivă a prelucrării considerată și admisă ca principalul indice al eficienței lucrării se poate admite că este o funcție de forma:

$$Q = \phi(f^m, A^n; p, k) \quad (6.1)$$

unde f, A, p, k au semnificațiile amintite la paragraful 4.1.

Se admite această relație generală, verificată experimental, dar pentru exponenții m și n în prezent nu există o unitară vedere (50), (57), (61) prezentând valori diferite și anume m, n ; 1 sau 2.

În prezenta lucrare se va adopta ca și în alte lucrări măsurarea capacității productive în cantitate de material prelevat pe unitate de timp (mm^3/min) deși se pare că această unitate reprezintă cu totul semnificativ eficiența prelucrării și atunci când este analizat ansamblul mașinii ultrasonice pentru performanțele mașinilor ultrasonice de diferite tipuri la stabilirea generală a unei modalități mai corecte de determinare a eficienței, pentru care autorul propune măsurarea capacității productive în cantitate de material prelevat/energie consumată (mm^3/Joule), deoarece considera totuși indicele ca fiind cel mai reprezentativ pentru a caracteriza un proces de prelucrare.

Prin urmare urmărind exerciția 6.1. că deși fiecare variabilă reprezintă de fapt factorii tehnologici de bază ai prelucrării ultrasonice, acești parametri pot fi asociați foarte bine cu ansambluri specifice a mașinilor de prelucrat cu ultrasunete. Astfel se poate de înălți construcția acestor subsisteme fiind orientată în direcția realizării valorii optime în funcție de

urute pentru acești parametrii. În felul acesta acești parametrii tehnologici devin elemente inițiale în proiectarea și construcția utilajului.

Parametrul frecvență de lucru „f” poate fi asociat generatorului de ultrasunete G în primul rând și în al doilea rând blocului ultrasonic BU. Cum însă BU se dimensionează pentru o frecvență fixă (frecvențe de rezonanță) considerăm că „f” se poate asocia direct generatorului.

Frecvența de lucru e stabilită pentru majoritatea mașinilor ultrasonice la valori cuprinse între 18 și 30 kHz aceasta considerându-se banda de frecvențe optime pentru prelucrări. Deși numeroase studii au arătat că indicele capacitate productivă Q crește aproape liniar cu creșterea frecvenței de lucru, tendința de a utiliza frecvențe înalte determinată și de eventuala economie în utilizarea materialelor magnetostriective nu este rațională deoarece pentru aceeași valoare a amplitudinii oscilațiilor puterea necesară a generatorului crește cu pătratul frecvenței, iar pe de altă parte creșterea frecvenței duce la creșterea pierderilor în magnetostriectorii metalici datorită curenților turbionari. În majoritatea cazurilor pentru exponentul „n” pentru frecvență se adoptă valori de 0,75, 1 sau 2 (50), (57), (61). În cazul sistemelor moderne cu autoreglare pe frecvența de rezonanță rolul parametrului „f” scade deoarece însăși utilajul prin funcția sa asigură valoarea optimă necesară prelucrării.

Cel de al doilea parametru și anume amplitudinea oscilațiilor „A” se poate asocia blocului ultrasonic, BU. Astfel BU determină unul din cei mai importanți parametri de care depinde capacitatea productivă. La fel exponentul „n” al amplitudinii nu este cu exactitate precizat existând valori de la 0,75, 1 până la 2 (50), (57), (61). aceleasi

Dacă pentru frecvență stabilirea unei valori fixe e impusă de dimensionarea la rezonanță a blocului ultrasonic, în cazul amplitudinii „A” aceasta poate să varieze în limite destul de largi limitarea ei este impusă de condițiile de rezistență la oboseală a elementelor BU (concentrator și transductor), dar tendința generală este de a crește eficiența prelucrării prin obținerea unor valori mari.

În prezent amplitudinii în jur de 30 - 100 μ m la capătul concentratorului sînt considerate ca fiind valori de vîrf. La mașinile

ultrasonice ce lucrează cu scule diamantate amplitudinea este limitată de durabilitatea sculei.

Obținerea unor valori superioare ale amplitudinii oscilațiilor este determinată de factori de proiectare, execuție, material magnetostriktiv sau electrostriktiv, adaptare la generator și regim corect de excitație la blocul ultrasonic.

Cel de al treilea parametru tehnologic important este presiunea statică între piesă și sculă „p” asociată sistemului de avans al mașinilor ultrasonice.

Sistemul de avans se pare că este subansamblul funcțional cel mai puțin pus la punct și studiat, deși realizează parametrul „p”, presiune de lucru, -parametru cu implicații atât asupra celorlalți parametri cât și dependent de aceștia. Literatura de specialitate admite o valoare optimă a presiunii de lucru între limitele $0,5 - 4 \text{ daN/cm}^2$, atunci când se are în vedere eficiența prelucrării prin Q, depășirea acestei valori ducând în general la scăderea productivității prelucrării, la trecerea sculei de la un regim de lucru percutant la unul nepercutant, la deplasarea frecvenței de rezonanță, introducerea de amortizări și înrăutățirea condițiilor de circulație a suspensiei abrazive sub sculă (61), (57), (40).

În general valoarea admisă pentru parametrul presiune e stabilită în urma unor cercetări făcute doar în condițiile unui avans continuu și a unei alimentări simple prin stropire a suspensiei abrazive. Literatura de specialitate face asociații destul de tinerde ale acestui parametru cu celelalte condiții de lucru cum ar fi de exemplu absorbția sau pomparea prin sculă a suspensiei abrazive, precum și mai ales precizarea valorii acestui parametru în cazul sistemelor de avans intermitente (secvențiale). În general limitele admise pentru presiunea de contact corelată cu vitezele relativ mici de prelucrare pe mașinile ultrasonice duc la dificultăți cinematice considerabile impuse mecanismelor de avans care trebuie să se distingă prin sensibilitate și finețe deosebită.

Ultimul parametru tehnologic admis în relație este parametrul „k” având o semnificație mai largă în sensul că el ține cont atât de modul de alimentare cu suspensie, dimensiunile și caracteristicile granulei abrazive cât și caracteristicile suspensiei propriu zise (concentrație, etc).

Deși acest parametru pare a fi în aparență minor trebuie totuși să admitem că ele condiționează în mod direct orice prelucrare cu ultrasunete și mai ales orice interpretare relațională cade atîta timp cît nu se asigură optimum corespunzător. Acestui parametru el fiind legat de însăși agentul eroziv. Se poate lua în considerare studiul celorlalți parametri și în general al întregului ansamblu al mașinilor ultrasonice numai în situația în care se asigură condiții optime privind acest parametru pe care-l putem asocia în primul rînd sistemului de alimentare cu suspensie abrazivă (SASA) și într-o mică măsură chiar sistemului de avans care poate sau nu să favorizeze alimentarea cu suspensie abrazivă la locul prelucrării respectiv evacuarea „șchimbilor”. Rezultă în mod clar că orice analiză asupra unui utilaj sau orice tentativă de proiectare pornește în mod implicit de la relația (6.1) respectiv analiza parametrilor tehnologici în strînsă corelație cu elementele constructiv funcționale ale utilajului. În comparație cu primul model de prelucrare ultrasonică modelul prelucrării fără suspensie abrazivă și cu scule impregnate cu diamant prezintă unele particularități aparte și anume:

- *productivitatea prelucrării* după datele destul de sumare de care dispunem se pare că este cam aceeași și într-o primă aproximație putem admite dependența eficienței de aceeași factori ca și-n cazul modelului cu suspensie abrazivă. Ceea ce trebuie remarcat este că dacă domeniul de frecvență e același dependențele fiind aceleași, amplitudinile necesare pentru aceeași valoare a capacității productive realizate la blocul ultrasonic sînt mai mici, ba mai mult chiar limitate la valori de 10-15 μm pe considerentul protejării sculei de spargeri. Din capul locului vom trage concluzia că realizarea acestei valori de amplitudine este tehnic mult mai accesibilă și nu comportă complicațiile cazului anterior. Singura complicație e legată de faptul că blocul ultrasonic rotindu-se la turații între 1000-5000 rot/min impune o construcție specială, probleme de răcire și echilibrare.

În ce privește presiunea optimă de contact datele din literatura de specialitate precizează o valoare mai mare pînă la 30 daN/cm^2 . Aceasta înseamnă condiții cinematice mai ușoare mecanismului de avans soluții constructive mai simple și în final realizare mai ușoară.

Parametrul k are o semnificație în cazul acesta mult mai mare prin faptul că el se referă la dimensiunile grăunților de diamant impregnați în sculă (granulație și concentrație) și eventual la caracteristicile abrazive ale sculei propriu zise. De remarcat că astfel parametrul k se simplifică el nefiind implicat într-un mod de alimentare și menținere a agentului eroziv sub sculă ca-n primul model și deci însăși sistemul constructiv căruia i se poate asocia devine mai simplu. Astfel e ajuns un sistem de răcire ungere. De remarcat că mașinile ultrasonice fără suspensie abrazivă prezintă avantaje dar și dezavantaje nete. Se pare că problemele constructive ce le ridică sînt în parte mai ușoare, iar rezolvarea problemelor constructive în primul rînd la mașinile cu suspensie abrazivă înseamnă găsirea prin simple similitudini sau extrapolări a soluțiilor constructive pentru mașinile fără suspensie abrazivă.

Teza de față are în vedere pe lîngă argumentele de mai sus și faptul că modelul prelucrării ultrasonice cu sculă diamantată este asociat de mulți cercetători de fapt unei prelucrări convenționale de găurire activată ultrasonic.

5.2. Stadiul cercetării, perspective și limite.

Literatura de specialitate consemnează în general cercetări privind tehnologia și fenomenologia prelucrării și foarte puține date privind construcția utilajului în legătură cu parametrii tehnologici.

O serie de utilaje prezintă în construcția lor unele subansamble mai perfecționate decît celelalte însă se pune în fața proiectantului problema alegerii variantei constructive optime care să satisfacă eficiența maximă în prelucrare dar să comporte cheltuielile de realizare cît mai reduse.

Pe baza studiului unui mare număr de mașini ultrasonice de serie (2), (4), (5), (15), (9) și a unor modele experimentale (29), (50), (23), autorul a încercat să schițeze un studiu de optimizare privind alegerea variantelor constructive optime din punct de vedere al performanței și costului la cîteva tipuri de bază (mașini specializate, mașini universale, etc.). Astfel a admis pe baza datelor de care dispune la ora actuală și care desigur pot fi doar informative, posibilitatea realizării unei mașini

de prelucrat cu ultrasunete pe baza unor subansamble tipice și care au în vedere de fapt principalii parametri tehnologici. Astfel pentru generatorul de ultrasunete, blocul ultrasonic și sistemul de alimentare cu suspensie abrazivă s-au admis trei variante constructive posibile, iar pentru sistemul de avans cinci variante constructive posibile.

Pentru compararea variantelor între ele s-au admis două criterii de bază și anume criteriul eficienței (apreciat pe baza datelor tehnice actuale) vizînd capacitatea productivă a prelucrării ultrasonice și criteriul costului variantei (apreciat din punct de vedere al accesibilității în realizarea sau achiziționarea lui.).

Distilînd datele de care dispunem la ora actuală și încercînd o ordonare a acestora pe baza ponderii la criteriul eficiență și cost al fiecărei variante în parte s-a obținut situația din tabelul 6.1.

Tabel 6.1

| Subansamblul și parametrul ce-l determină | Varianta constructivă | Coeficient de pondere | |
|---|---|-----------------------|------|
| | | Eficiență | Cost |
| GENERATORUL DE ULTRASUNETE (G) (frecvența „f”) | generator cu tuburi | 1 | 1 |
| | generator tranzistorizat cu frecvență măsurătoare | 1,5 | 2 |
| | generator cu auto-tuneare | 2 | 3,5 |
| BLOCUL ULTRASONIC (BU) (amplitudinea „A”) | transductor de ferib | 1 | 1 |
| | transductor magn. metalic | 4 | 2 |
| | transductor PZT | 12 | 5 |
| SISTEMUL DE AVANS (SA) (presiunea „p”) | mecanic | 1 | 1 |
| | electromecanic continu | 4 | 5 |
| | electromecanic intermit. | 6 | 7 |
| | pneumatic | 3 | 4 |
| | hidraulic | 5 | 6 |
| SISTEMUL DE ALIMENTARE (SASA) (parametrul „k”) | sistem cu stropire | 1 | 1 |
| | sistem cu absorbție | 6 | 3 |
| | sistem cu refluxare | 2 | 15 |

Se impune avînd aceste date inițiale și utilizînd relațiile (4.9), (4.23) date de Markov și respectiv Miller pentru eficiența prelucrării (exprimată prin capacitatea productivă) într-o formă simplificată:

$$Q_{\text{MARKOV}} = C_1 \cdot (A \cdot P)^{3/4} \cdot f \cdot k \quad (6.2)$$

respectiv

$$Q_{\text{MILLER}} = C_2 \cdot A \cdot P \cdot f \cdot k \quad (6.3)$$

iar costul apreciindu-l sub forma sumei coeficienților de pondere pentru fiecare subansamblu, să găsim varianta constructivă optimă din punct de vedere al eficienței (maxime), și al costului (minim) avînd în vedere un anumit tip de utilaj.

Se admit trei variante pentru utilaj și anume:

- 1 - Mașină ultrasonică pentru prelucrarea metalelor dure și carburilor.
- 2 - Mașină ultrasonică pentru prelucrat ceramici speciale, ferite, germaniu, siliciu.
- 3 - Mașină ultrasonică pentru prelucrat sticlă, ceramică, pentru gravări și piese mici în general.

Prelucrînd datele cu ajutorul calculatorului electronic pe baza organigramei din figura 6.1. și exprimînd dependența eficienței costului funcție de combinația variantelor constructive se obține diagrama din figura 6.2 corespunzătoare variantelor de lucru ale eficienței după Markov respectiv Miller.

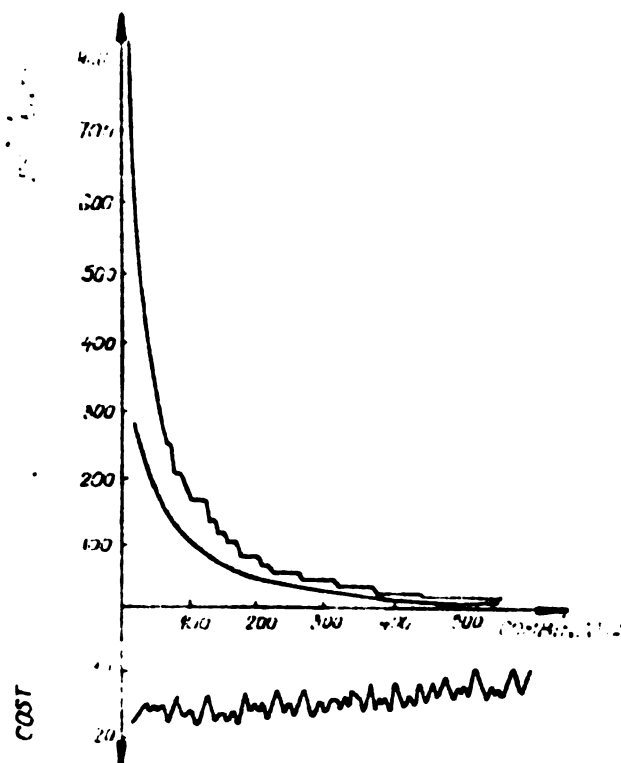


Fig. 6.2. - Varietia eficienței exprimată prin indice de capacitate productivă și a costului pentru diferite combinații ale variantelor constructive a subansamblelor.

Pe ordonată . diagramei simplificat redată în figura 6.2. au fost marcate valorile eficienței exprimată sub forma capacității productive Q însă fără a se ține cont de valorile constantelor globale C_1 și C_2 din relațiile (6.2), (6.3) utilizate. În sens opus pe ordonată au fost trevute valorile reprezentând costul.

Pe abscisă s-au marcat în ordinea descrescîndă a eficienței Q combinațiile posibile pentru diferitele variante constructive.

Interpretînd rezultatele obținute și redade sub forma diagramei din figura 6.2. se poate trage în primul rînd concluzia că este încă dificilă aprecierea oportunității alegerii variantei constructive pentru un utilaj din cele trei categorii mai sus amintite din lipsa datelor concrete privind raportul constantelor C_1 și C_2 utilizate în cele două relații (6.2) și (6.3).

Aceasta face ca proiectantul să se decidă de fapt pentru utilizarea unei din cele 2 curbe redade ceea ce de fapt îngustează posibilitățile de comparație.

Se observă că eficiența potrivit relației lui Markov prezintă un raport al eficienței maxime la eficiența minimă în jur de 20 ceea ce este mai apropiat de realitate, decît raportul de aproape 57. care ar rezulta după relația lui Miller și care este infirmat de realitățile construcției practice a mașinilor ultrasonice. Mai mult curba de eficiență după relația lui Miller prezintă o serie de baliere ce indică de fapt o eficiență constantă pentru variante constructive cu diferențieri destul de nete.

Acest lucru ne face să tragem concluzia că de fapt relațiile obținute de Markov și respectiv Miller nu sînt comparabile, mai mult se pare că relația dată de Markov se apropie mai mult de realitate.

Acest lucru este mai evident dacă luăm în considerare că Miller a emis o teorie a prelucrării ultrasonice mult mai generală care cuprinde și materialele ductile și deci greu prelucrabile ultrasonic și în consecință riscurile unor interpretări și rezultate mai puțin apropiate de realitate au fost mai mari. Fără ca aceste concluzii să scadă din valoarea lucrării lui Miller, autoarea consideră că ea este suficient de exactă în măsură în care întindeză domeniul de aplicare a prelucrării ultrasonice (cu

procedere la materialele dure și fragile) și se face concretizarea privind valoarea globală a coeficientului C_2 .

Fiind în considerare în această situație varianta oferită de teoria lui Markov și admitînd un utilaj ce se dăruie să realizeze o anumită valoare a eficienței și anume $\eta_1 \approx 100$ se găsește că la un cost aproximativ apropiat sînt recomandate următoarele variante constructive

| | Varianta I | Varianta II | Varianta III |
|-----|----------------------------|---|-----------------------------|
| | generator cu autoacordare | generator tranzistorizat cu frecvență măsurătoare | generator cu autoacordare |
| | transductor PZT | transductor magnetostrictiv | transductor magnetostrictiv |
| II | electromecanic intermitent | electromecanic intermitent | electromecanic continuu |
| III | sistem cu refulare | sistem cu absorbție | sistem cu absorbție |

De valori se pare că concordă destul de satisfăcător cu realitatea, întrucît pe baza aceluiași diagrame se pot obține și soluții constructive care sînt mult mai dificil de corelat cu practica realizării utilajelor.

În realizarea acestei schițe de studiu de optimizare se au în vedere rezerve pe care le exprimă autorul avînd în vedere că nu sînt încă date inițiale exacte de comparație mai ales în ceea ce privește costul realizării.

Problema este însă o alegere a variantei constructive mult mai complexă și impune aprofundarea și unor aspecte fundamentale care de fapt nu fac obiectul prezentei teze.

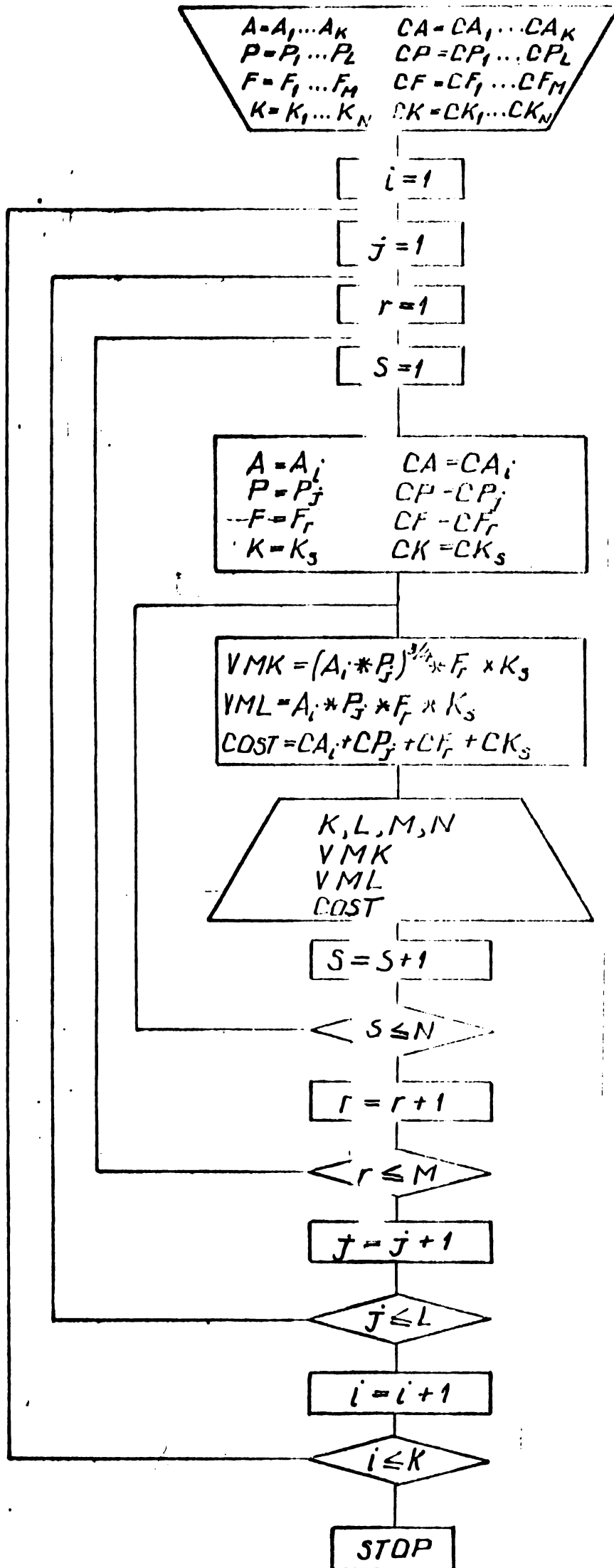


Fig. 6.1 - Organigrama pentru determinarea eficienței și costului diferitelor variante constructive.

7. CERCETAREA BLOCULUI ULTRASONIC (BU)

7.1. Tipuri constructive de blocuri ultrasonice, compunerea și elementele constructive specifice.

Blocul ultrasonic realizează transferul de energie ultrasonică necesară prelucrării de la generator la piesa de prelucrat, astfel încât în mare măsură performanțele unei mașini de prelucrat cu ultrasunete depind de modul de dimensionare, construcție și adaptare a BU la structura cinematică concretă a mașinii. Blocul ultrasonic (fig.3.1a) este format dintr-un element activ, transductorul și un element pasiv, transformatorul acustic sau concentratorul cu rolul de a transmite sculei vibrațiile elastice ale transductorului. Totodată prin intermediul concentratorului se asigură protejarea transductorului și legătura blocului ultrasonic cu scula. Ansamblul astfel format, transductor-concentrator se montează într-o carcasă proprie cu posibilitatea realizării unui circuit de răcire. Câteva din schemele de montaj realizabile pentru BU și folosite în diverse construcții de mașini ultrasonice sînt redată în figura 7.1. și la adoptarea lor trebuie să se țină cont de cel puțin două condiții

esențiale:

- să fie suficient de rigide pentru a asigura precizia cinematică și de prelucrare a mașinii.
- să fie astfel realizate încît să ducă la pierderi minime de energie.

În încercările din teză s-au adoptat două din soluțiile cunoscute și anume cele corespunzătoare figurii 7.1a și 7.1e.

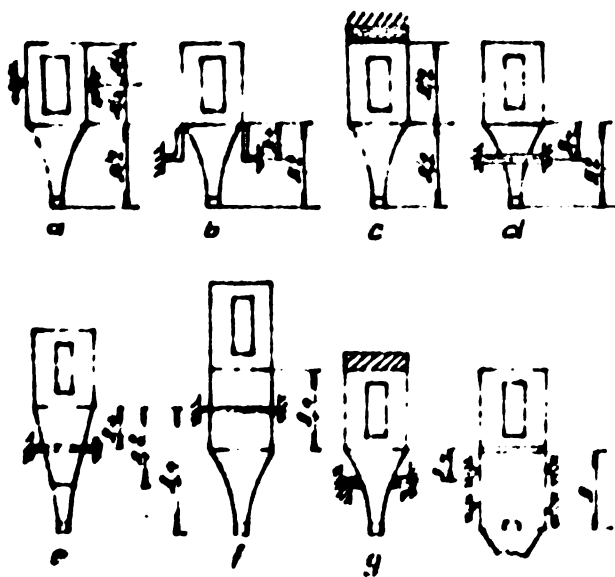


Fig.7.1. - Scheme de montaj pentru blocurile ultrasonice (50)

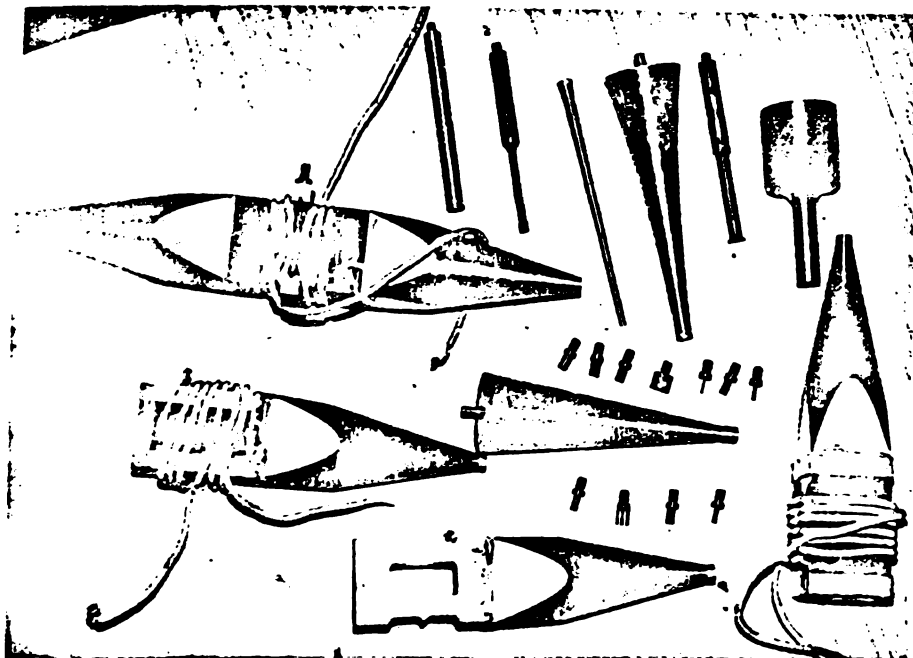


Fig. 7.2. Blocuri ultrasonice folosind magnetostrictori metalici

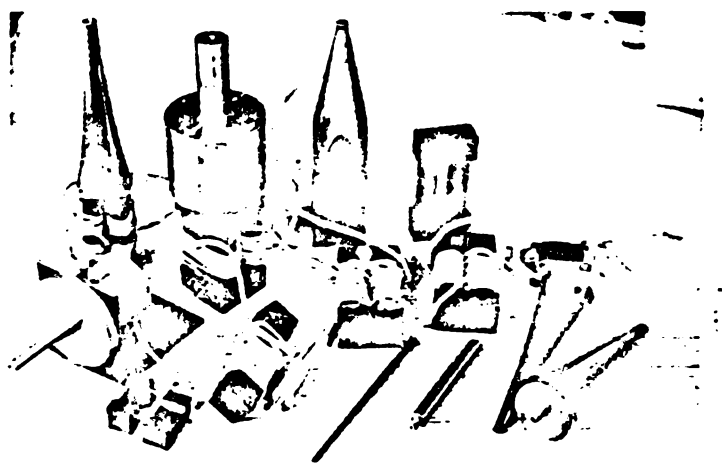


Fig. 7.3. Blocuri ultrasonice folosind magnetostrictori pe bază de ferite.

- alegerea schemei de montaj în carcasă și izolarea acustică.
- tehnologia de execuție și montaj a elementelor BU.
- adaptarea corectă de generator și adaptarea sculelor
- realizarea ajustărilor necesare pentru funcționarea cât mai corectă la rezonanță
- stabilirea corectă a regimurilor de excitație în gol și în sarcină.

7.2. Materiale utilizate în construcția transductorilor ultrasonici.

În mare măsură progresele realizate în construcția magne-

tor de prelucrat cu ultrasunete au fost determinate de materi-

În figura 7.2 sînt redate cîteva din BU și concentratorii cu scule utilizate la încercări, pe bază de magnetostrictori metalici (nichel). În figura 7.3 sînt redate BU pe bază de ferite magnetostrictive utilizate în încercări. Se remarcă faptul că în încercări s-au utilizat toate formele constructive de concentratori și anume conic, exponențial și cilindric în trepte. Problemele principale care se cer rezolvate privind BU se pot rezuma la următoarele:

- decizia adoptării transductorului de tip magnetostrictiv sau de tip electrostrictiv.
- dimensionarea elemente-

utilizate în construcția transductorilor. Deși descoperirea vibratorului magnetostrictiv care a permis utilizarea ultrasunetelor de mare putere (Pierce 1928) nu mai este de dată recentă progrese la scara industrială în utilizarea macrosunetelor au fost posibile doar după 1945 culminând cu introducerea din 1956 pe lângă nichel și a aliajelor pe bază de nichel cu compoziția optimă (Clark). Ultimele decenii au consacrat utilizarea cu deosebit succes datorită proprietăților piezoelectrice remarcabile a zirconat titanatului de plumb (Jaffe și alții 1954) pe de o parte și a feritelor magnetostrictive pe de altă parte (Kikuchi 1957, Van der Burgt 1956). Dezvoltările tehnologice ulterioare au dus pe lângă perfecționarea transductoarelor pe bază de ferite și zirconat titanat de plumb la o reorientare pentru utilizarea în domeniul macrosunetelor a transductoarelor magnetostrictive.

Pentru transductorii maginilor ultrasonice de preluorat este foarte importantă alegerea materialelor pe baza criteriilor comparative și anume pe baza eficienței potențiale η_{pot} sau pe baza factorului de cuplaj electromecanic efectiv k_{ef}^2 . Eficiența poate fi definită cu ajutorul unei expresii aproximative deja stabilite (Van der Burgt și Strudjts 1963):

$$\eta_{pot} = f(k_{ef}^2, Q_m, Q_e) = 1 - \frac{2}{\sqrt{k_{ef}^2 Q_m Q_e}} \quad (7.1)$$

în care k_{ef} reprezintă cuplajul electromecanic efectiv, iar Q_m și Q_e sînt factori de calitate elastic și respectiv dielectric (mecanic și magnetic la vibratoare magnetostrictive). Pentru compararea practică importante sînt constantele fundamentale ale materialului ce sînt relatate prin definiția fizică a cuplajului.

Eficacitatea unui transductor pe bază de ceramici electrostrictive sau piezoelectrice poate fi exprimată prin factorul de cuplaj electromecanic definit ca raport între energia mecanică produsă și energia totală furnizată sistemului.

$$k_{ef}^2 = \frac{e^2}{\epsilon S} \quad (7.2)$$

unde e - constanta piezoelectrică (C/N)
 ϵ - permitivitatea (F/m)
 S - rigiditatea (N/m²).

In cazul transducoarelor magnetostrictive (respectiv adaptarea unei sarcini inductive pe generator) factorul de cuplaj electromecanic (magnetomecanic) este definit prin relația:

$$k_{ef}^2 = \frac{d^2}{s\mu} \quad (7.3)$$

în care

d - constanta magnetostrictivă

μ - permeabilitatea (Gs)

S - rigiditatea (N/m^2)

Este important ca aceste constante să rămână constante ca valoare în raport cu schimbarea condițiilor ambiante la funcționare (timp, temperatură, încărcare elastică, polarizare electrică).

La prelucrarea ultrasonică a materialelor, în particular criteriul de bază de apreciere rămâne factorul de cuplaj electromecanic și în mai mică măsură, eficiența potențială. Pentru a ține cont de noile dezvoltări a materialelor electrostrictive ceramice și aplicațiilor lor în procesele macrosonice definiția generală a factorului de cuplaj electromecanic k_{ef}^2 se dă ca fiind raportul dintre energie transformată și energia totală înmagazinată adică maximum ce se poate obține pentru k_{ef}^2 trebuie să fie oricum invers proporțional la suma tuturor energiilor implicate incluzând energia de anizotropie.

Transductorii magnetostrictivi metalici

Se bazează pe efectul magnetostrictiv caracteristic unor metale și aliaje cum sînt Ni, Co aliaje ale Co sau Ni precum și alferul (Al-Fe).

Urmărind diferite metale și aliaje magnetostrictive din punct de vedere al coeficientului static al magnetostricțiunii ($\lambda_s = \frac{\Delta l}{l}$) pentru diferite valori ale intensității cîmpului magnetic aplicat se constată că proprietăți magnetostrictive maxime prezintă aliajele Fe-Co și Fe-Al. Deși nichelul nu prezintă cele mai evidente proprietăți magnetostrictive, iar valoarea punctului Curie este destul de scăzută ($355^\circ C$) totuși acesta și-a găsit cel mai frecvent utilizarea în construcția transducoarelor (23), (50), (52). Incercările redatăe în teză au avut în vedere de asemenea transductori pe bază de Ni. Celălalte aliaje

fiind mai greu de obținut pe baza tehnologiilor curente sînt mai rar întrebuintate.

În mare măsură limitările privind utilizarea aliajelor magnetostrictive de diferite tipuri au apărut și datorită faptului că progresele în domeniul materialelor pentru transducători au avut în vedere în mod deosebit elaborarea materialelor electrostrictive ceramice sau a foritelor magnetostrictive. Astfel la un moment dat se părea că în construcția transductoarelor, materialele magnetostrictive metalice vor fi puternic concurate și chiar înlocuite de acestea din urmă. Esențial din acest punct de vedere era valoarea coeficientului de cuplaj electromecanic și valoarea eficienței electroacustice net superioare în cazul materialelor ceramice electrostrictive. Cu toate acestea în ultimul timp se remarcă o reorientare spre utilizarea materialelor magnetostrictive metalice și anume a aliajelor pe baza sistemului Ni-Co, care prin îmbunătățiri tehnologice au repus în actualitate utilizarea materialelor magnetostrictive metalice tocmai datorită unor valori ridicate ale coeficientului de cuplaj electromecanic și mai ales a eficienței electroacustice. Astfel pentru un aliaj avînd 4,5% Co și 95,5% Ni s-a obținut un factor de cuplaj $K_{ef} = 0,52$ mai mare ca oricare obținut pentru materiale metalice (62). Cu toate acestea rezistivitatea electrică a tuturor aliajelor binare Co-Ni e foarte scăzută constituind un dezavantaj pentru construcția transductoarelor deoarece se reclamă laminarea materialelor în tole de grosimi foarte mici în scopul reducerii pierderilor prin curenți turbionari (62), (60). Pe baza experimentelor lui Clark (1961) asupra unor aliaje ternare prin substituirea unei mici cantități de Cr s-a ajuns la aliajele ternare pe bază de Cr-Co-Ni și la aliajele binare Cr-Ni în care s-a constatat un cuplaj $K_{ef} = 0,36$ la un conținut de 2% Cr în același timp cu o foarte mare rezistivitate (62), (3). Efectul unei mici cantități de Cr s-a remarcat în deosebi asupra valorii rezistivității și a punctului Curie ceea ce face posibilă utilizarea cu succes a acestor materiale în transductoarele de putere (3), (13).

În figura 7.4 se prezintă variația puterii acustice specifice și a eficienței relative în funcție de puterea electrică specifică la intrare pentru un aliaj Cr-Ni cu 2,2% Cr.

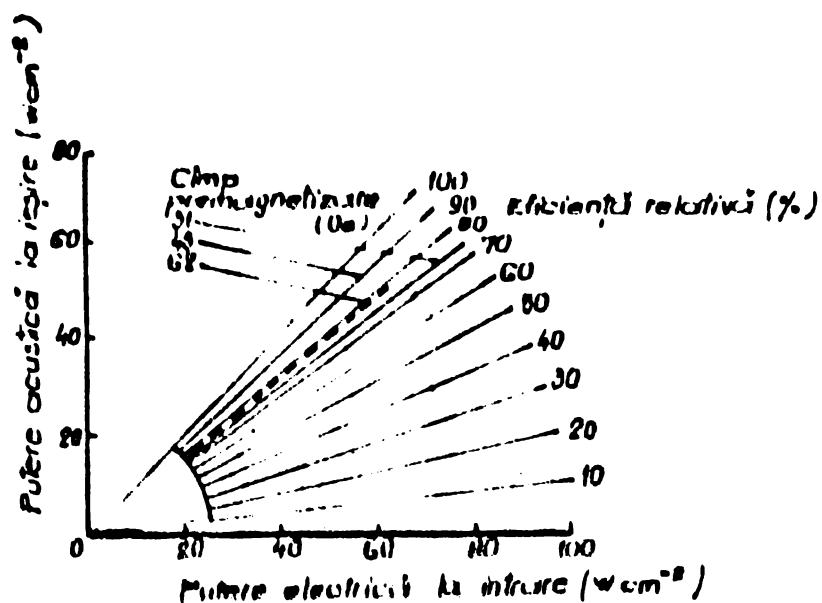


Fig. 7.4 - Variația puterii acustice și a eficienței relative pentru un aliaj Cr-Ni cu 2,2% Cr. (62)

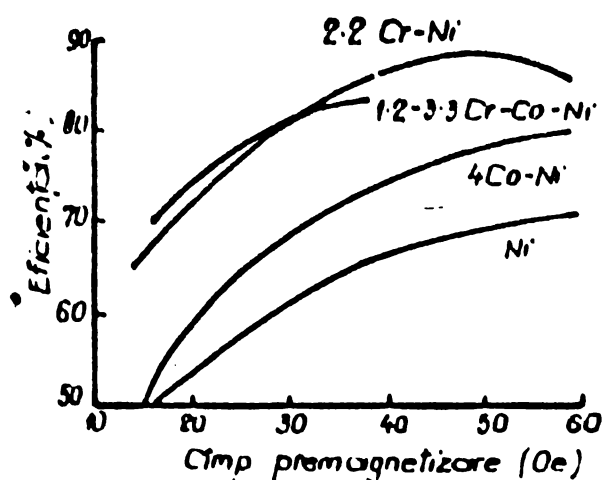


Fig. 7.5 - Variația eficienței electroacustice funcție de câmpul de polarizare pentru diferite aliaje (62).

În figura 7.5 variația eficienței electroacustice în funcție de câmpul de polarizare într-un transductor tip-bară din aliaj pe bază de Ni (62).

Ambele diagrame sînt ajustate ținînd cont de pierderile din înfășurările transductorului.

Totodată cercetări mai noi nu pun în evidență posibilități deosebite de îmbunătățire a proprietăților acustice aliaj pe bază de Ni-Cr (Cr 2,2%) în urma tratamentului corect aplicat. De remarcat că pentru acest tip de aliaj tratamentul termic nu se recomandă pentru eficiența sau cuplajul maxim ei trebuie să aibă în vedere parametrul Q_m în ansamblu cu factorul de cuplaj k_{ef} (3). Totodată se remarcă că deși aliajele cu 4,5% Co au o eficiență mai joasă acest nivel este păstrat ridicat chiar la o densitate de putere (încărcare specifică) mult mai mare decît acela la care alia-

jele pe bază de Cr-Ni pot opera eficient (3). Semnificativ din acest punct de vedere este graficul 7.6 (3). Eficiența maximă mai mare decît 90%, 80% respectiv 70% măsurată pe un transductor tip bară făcut din aliaj de Ni cu 2,2% Cr, respectiv aliaj de Ni cu 4,5% Co, respectiv Ni pur s-a obținut cînd polarizarea este la 46, 46-62 Oe respectiv deasupra domeniului 10-62 Oe.

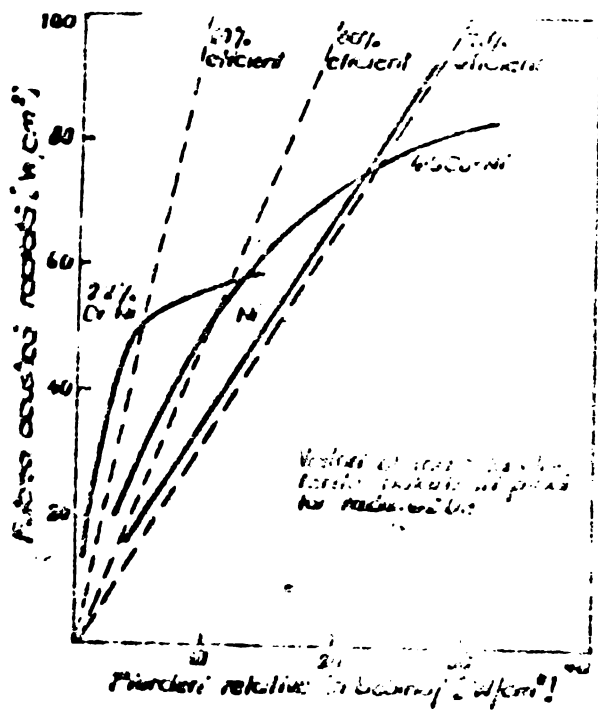


Fig. 7.6.- Variația pierderii acustice raportată la v, cm², în funcție de pierdere relativă în diametru, pentru diferite frecvențe de lucru.

... de pierdere. Trecând cu viteză înaltă... pe bare de Ni (de exemplu Cr 2%) și... de eficiențe ca și transductoarele proiectate...

... de pierdere. Trecând cu viteză înaltă... pe bare de Ni (de exemplu Cr 2%) și... de eficiențe ca și transductoarele proiectate...

... de pierdere. Trecând cu viteză înaltă... pe bare de Ni (de exemplu Cr 2%) și... de eficiențe ca și transductoarele proiectate...

... de pierdere. Trecând cu viteză înaltă... pe bare de Ni (de exemplu Cr 2%) și... de eficiențe ca și transductoarele proiectate...

... acustice... pierdere... eficiență... transductoarele proiectate...

de Ni-Co-Cr care sînt în curs de desfășurare și în ora actuală ne permit să apreciem că în viitor problema utilizării transductorilor magnetostrictivi metalici nu este nicicum înălțată ci datorită proprietăților specifice acestora (apreciabile în instalațiile cu macrosunete) și a costului competitiv există toate cauzele pentru a concura cu succes materialele ceramice electrostrictive în fabricarea transductorilor. Cum s-au atins la aceste materiale eficiențe electroacustice mai mari de 80 % încercările din teză au avut în vedere în bună parte studierea posibilităților de utilizare și a acestor tipuri de magnetostrictori metalici.

Feritele magnetostrictive

Ultimii ani au impus pe lângă transductorii magnetostrictivi metalici și feritele, materiale ceramice cu bune proprietăți magnetice. În construcția transductorilor ele prezintă o rezistență mecanică mare iar pierderile prin curenți turbionari sînt practic nule. Astfel se pot utiliza sub forma unor miezuri monolite obținute prin operații de presare-sinterizare. Au formula generală $(MO)(Fe_2O_3)$ unde M este un atom bivalent, proprietățile lor depinzînd pe lângă compoziție chimică în mare măsură și de tehnologia de elaborare. Prin folosirea feritelor se pot obține transductori cu coeficient de cuplaj electromecanic k_{ef} destul de ridicat comparabil cu materialele metalice utilizate. Un avantaj deosebit este faptul că au temperatura punctului Curie peste $500^{\circ}C$. Tabelul 7.1 redă comparativ principalele proprietăți ale materialelor magnetostrictive metalice și a feritelor mai des folosite utilizabile în construcția transductorilor. Avînd în vedere dezvoltarea producției de ferite magnetostrictive la Institutul de Cercetări Electronice București, lucrarea cuprinde și încercarea unor transductoare pe baza de ferite românești în comparație cu construcția transductoarelor magnetostrictive pe bază de Ni. Remarcăm totodată condițiile deosebite impuse la elaborarea feritelor magnetostrictive de realizarea cărora depinde în mare măsură caracteristica lor de utilizare în domeniul macrosunetelor.

Figura 7. redă dependența coeficientului de cuplaj electromecanic în raport cu temperatura pentru cîteva tipuri

Tabelul 7.1.

| Tip | Materialul | Densitate ρ [kg/m ³] | Rigiditate E [N/m ²] | Coefficient vistic al mag- netic sau olungirea $\lambda_3 = (\frac{\Delta l}{l})_s$ | Permeabilitate relativă (μ / μ_0) | Punct Curie [°C] | Factor de cuploy electromec- K [%] |
|-----------------|--|---------------------------------------|------------------------------------|---|---|------------------------|---|
| Aliaje metalice | Nichelul | $3,9 \cdot 10^3$ | $2,1 \cdot 10^{11}$ | $-40 \cdot 10^{-6}$ | 40 | 360 | 30 |
| | 4,5% Co - Ni | $8,9 \cdot 10^3$ | $2,0 \cdot 10^{11}$ | - | 130 | 410 | 51 |
| | 14% Co - 2% Cr - Ni | $8,8 \cdot 10^3$ | $2,0 \cdot 10^{11}$ | - | 75 | 260 | 37 |
| | 22% Cr - Ni | $8,3 \cdot 10^3$ | $2,0 \cdot 10^{11}$ | - | 150 | 240 | 40 |
| | Aliaje (15% Al - Fe) | $6,7 \cdot 10^3$ | $1,5 \cdot 10^{11}$ | $40 \cdot 10^{-6}$ | 190 | 500 | 25-30 |
| Terțe | Ferromendur Fe_3C_2 - $45\% Fe$ - $2\% C$ | $8,1 \cdot 10^3$ | $2,6 \cdot 10^{11}$ | $70 \cdot 10^{-6}$ | 50 | 920 | 25-31 |
| | 7A1 | - | $1,77 \cdot 10^{11}$ | - | 15-25 | 540 | 25-30 |
| | 7A2 | - | $1,82 \cdot 10^{11}$ | - | 8-15 | 540 | 22-25 |
| | 7B2 | - | - | - | - | 540 | 19-22 |
| | 21 | $5,2 \cdot 10^3$ | $1,75 \cdot 10^{11}$ | $-2,6 \cdot 10^{-6}$ | 44 | > 500 | 21 |
| 38 | $5,27 \cdot 10^3$ | $1,75 \cdot 10^{11}$ | $-9 \cdot 10^{-6}$ | 90 | > 500 | 14 | |

NOTĂ : 7A1 - $\{(Ni)_{0,8} Cu_{0,2}\}_{0,978} (CoO)_{0,022} (FeO)_{0,003} (Fe_2O_3)$

7A2 - $\{(Ni)_{0,8} Cu_{0,2}O\}_{0,99} (CoO)_{0,01} (Fe_2O_3)$

7B - $(NiO)_{0,988} (CoO)_{0,012} (Fe_2O_3)$

21 - $NiO \cdot Fe_2O_3$

38 - $NiO_{0,5} ZnO_{0,5} Fe_2O_3$

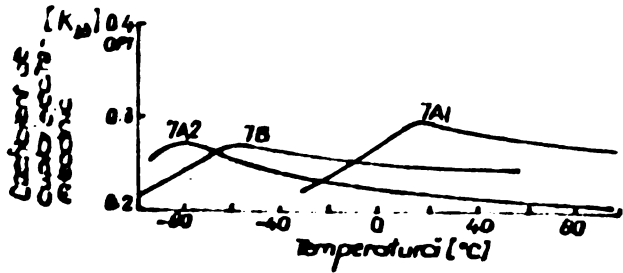


Fig.7.7.-Dependența factorului de cuplaj electromecanic cu temperatura la diferite tipuri de ferite comerciale (62).

de ferite comerciale pe bază de cobalt și nichel folosite mai des în utilajele străine. Incercările autorului pe ferite magnetostrictive românești sînt redată în paragraful 7.6.

Ceramici electrostrictive

Ultimii ani au marcat o continuă pătrundere în construcția instalațiilor tehnologice cu ultrasunete chiar de puteri mai mari a transductorilor din ceramici electrostrictive. Aceste materiale au cunoscut o dezvoltare rapidă de dată recentă și pe lângă titanatul de bariu BaTiO_3 și niobatul de plumb PbNb_2O_6 cu deosebire în tehnica macrosunetelor s-a impus zirconatititanatul de plumb, $(\text{PbTiO}_3)_{0,45}(\text{PbZrO}_3)_{0,55}$ (Berlincourt și alții 1960). Pe lângă altele avantajul deosebit pe care-l prezintă în special zirconat-titanatul de plumb este că are o eficiență electroacustică deosebit de ridicată în jur de 90% și un factor de cuplaj electromecanic k_{ef} care poate să atingă chiar valoarea de 0,75. În tabelul 7.2 sînt redată principalele caracteristici

Tabelul 7.2

| Materialul | Densitate ρ [kg/m^3] | Rigiditate E [N/m^2] | Coeficient electrostrictiv ϵ [C/N] | Permițivitate ϵ [F/m] | Amplitudinea de rezonanță λ (cm) |
|---------------------------|--|---|--|---|--|
| PbTiO_3 | $5,7 \cdot 10^3$ | $4,8 \cdot 10^{10}$ | $190 \cdot 10^{-12}$ | $1250 \cdot 10^{-11}$ | 20-30 |
| PbNb_2O_6 | $6,0 \cdot 10^3$ | $2,9 \cdot 10^{10}$ | $90 \cdot 10^{-12}$ | $240 \cdot 10^{-11}$ | 31 |
| PZ-4 | $7,5 \cdot 10^3$ | $8,1 \cdot 10^{10}$ | $235 \cdot 10^{-12}$ | $875 \cdot 10^{-11}$ | 63 |
| PZ-5 | $7,7 \cdot 10^3$ | $8,7 \cdot 10^{10}$ | $320 \cdot 10^{-12}$ | $1300 \cdot 10^{-11}$ | 10 |

NOTĂ: PZ-4 este $(\text{PbTiO}_3)_{0,45}(\text{PbZrO}_3)_{0,55}$ și PZ-5 este $(\text{PbTiO}_3)_{0,45}(\text{PbZrO}_3)_{0,55}$

ul acestor materiale PZ-4 și PZ-5 sînt valorile nominale

ale zirconat-titanatului de plumb fabricate de firma Vernitrou Ltd (Anglia).

În figura 7.8 se prezintă ansamblul transductor realizat pe baza zirconat-titanatului de plumb de firma Vernitron (Anglia) cu destinație pentru mașini de prelucrat, mașini de sudat și instalații de curățire cu ultrasunete, iar figura 7.9 reprezintă inelele ceramice și tipurile constructive utilizate de firma RTC la Radiotechnique-Compolec (Franța) în construcția acestor transductori.

De remarcat că utilizarea presupune o schimbare de magnetostriecție metalică sau ferită, adaptarea în generatorul de ultrasunete a unui circuit capacitiv.

Un punct de vedere de vedere în dezvoltarea cercetărilor pentru utilizarea transductorilor din zirconat-titanat de plumb este prematură având în vedere dificultățile tehnologice deosebite pe care le reclamă încă producerea acestor elemente în țară,

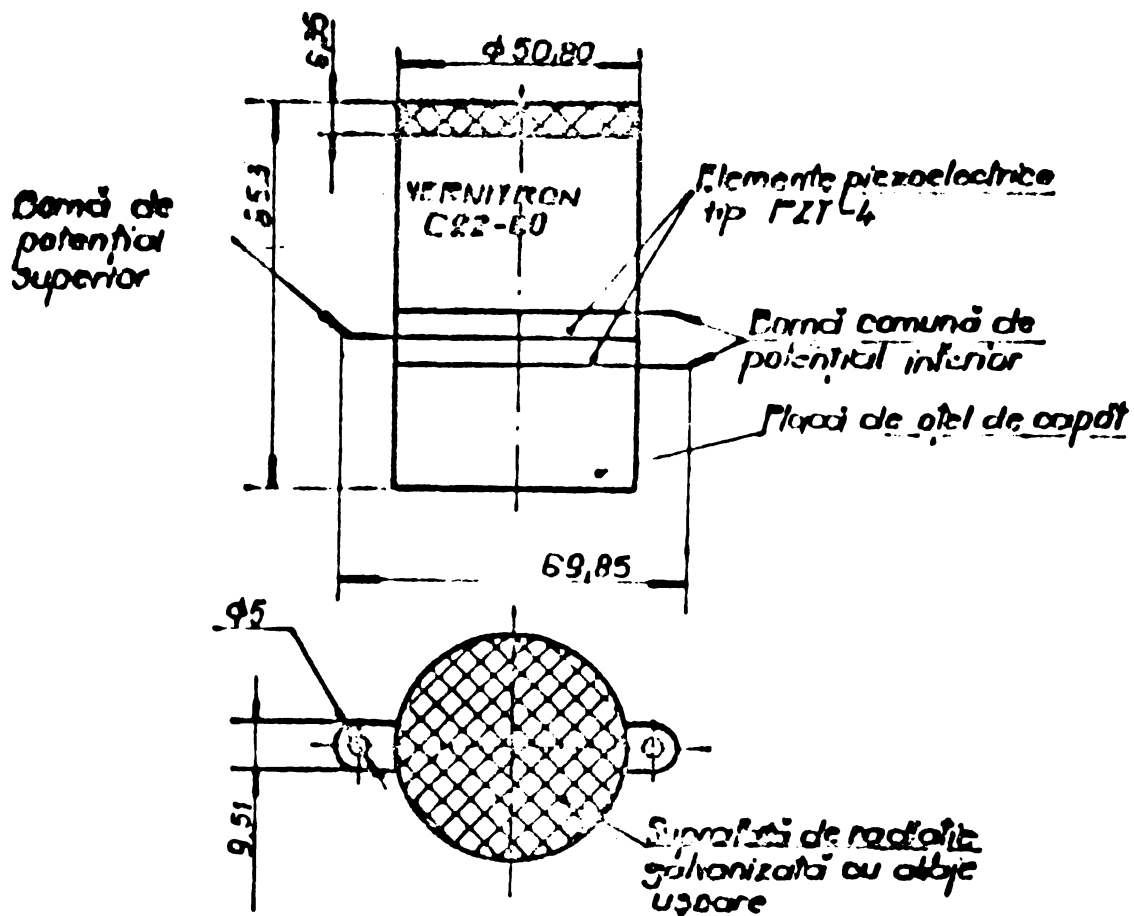


Fig.7.8. Transductor ceramic pe bază de zirconat titanat de plumb realizat de firma Vernitrou Ltd (Anglia) (12).

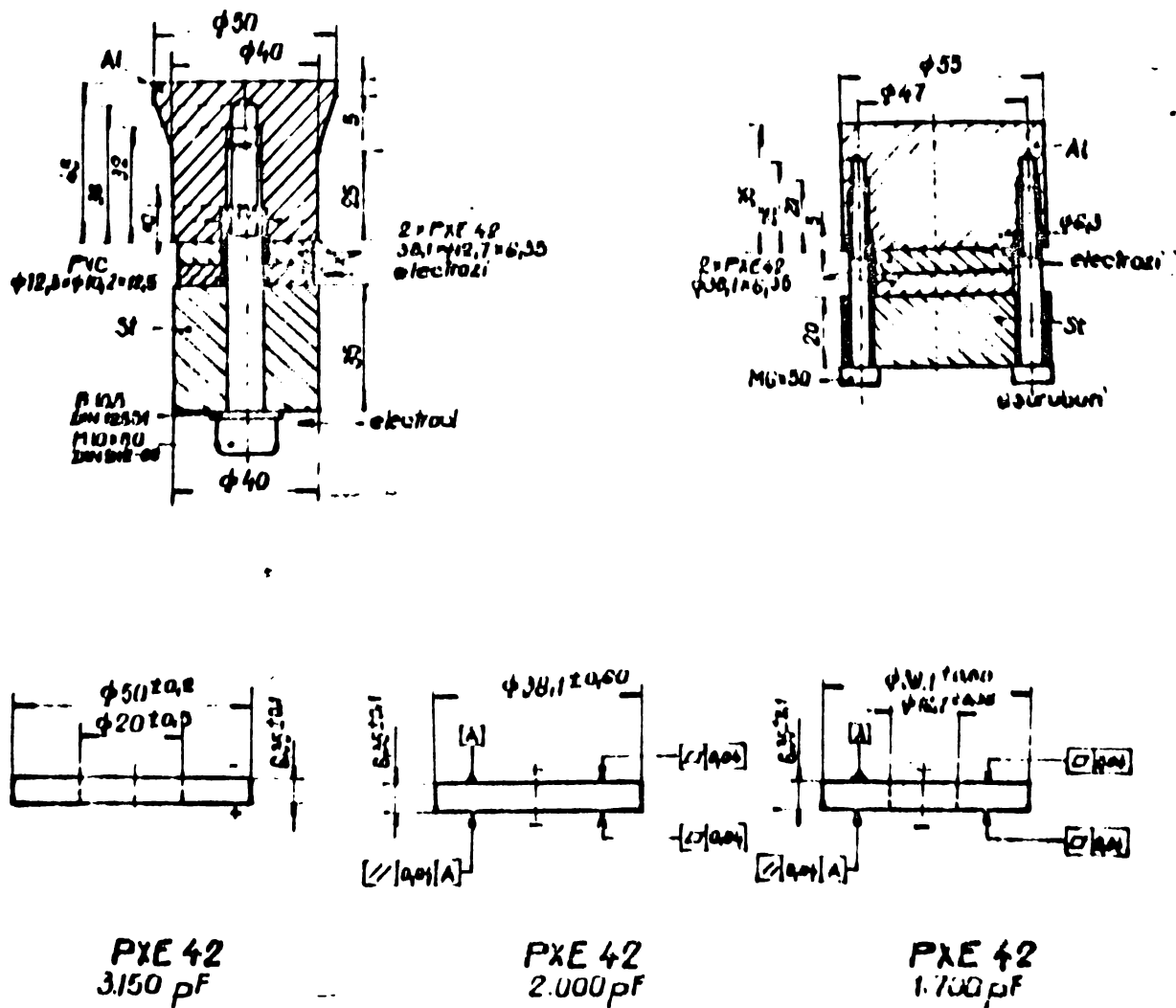


Fig. 7.9. Inele ceramice și tipuri constructive de transductori pe bază de zirconattitanat de plumb - RTC la Raditechnique Compelec (Franța) (15)

iar pe de altă parte costul lor relativ ridicat, se precizează că în domeniul și în industria noastră de fabricare și utilizare a transducerilor magnetostriktive putem și a transducerilor metalice care nu în vedere programele recente realizate în acest domeniu.

7.3. Elemente de calcul și proiectare a blocurilor ultrasonice supuse încercărilor.

În dimensionarea blocului ultrasonic, respectiv a transducerului și concentratorului se porneste de la următoarele considerente specifice prezentei lucrări:

- generatorul de ultrasonete este de frecvență variabilă între 10-107 kHz și de putere variabilă de la 0 la 1,5 kw.
- transducerul se cere a fi dimensionat pentru o putere acustică maximă posibilă la încercări.

- datele privind calculul în proiectarea în special a transductoarelor magnetostrictive sînt informative conținînd unele elemente contradictorii.

Avînd în vedere pentru etapa viitoare dificultățile unei sarcini capacitive în generator și anume transductoare pe bază de ceramici electrostrictive precum și tendințele de relansare a transductorilor magnetostrictivi metalici ne constă deci să putem face muncă utilă în cea mai mare măsură cu precizie a magnetostrictorilor metalici sau feritelor. În acest scop proiectarea transductorului a avut în vedere și existența unei cantități limitate de nichel în dispoziția motorului, material deficitar și scump.

- În proiectarea și încercarea transductorilor metalici pe bază de Ni autorul a trebuit să țină cont de existența unei cantități limitate de nichel, material deficitar și scump, impunîndu-se uneori adoptarea unor variante de compromis și a ajustărilor.

Totodată au existat limitări și din punct de vedere a aparaturii potrivite unor încercări specifice blocurilor ultrasonice.

În prima fază a încercărilor s-a preconizat utilizarea unui vibrator magnetostrictiv pe bază de nichel la care printr-o lipire clasică cu cobalt s-a atașat un concentrator exponențial de secțiune pătrată cu raportul de reducere a secțiunii $N = 4,8$. Din capul locului trebuie precizat că pentru vibratorul magnetostrictiv s-a adaptat o suprafață de radiație maximă admisibilă conform datelor de proiectare admise în literatura de specialitate (50), (23) și anume 48×48 mm. Pentru concentrator valoarea gradului de reducere a secțiunii a fost adaptată chiar peste limita recomandată (50) în scopul urmăririi comportării blocului ultrasonic în condițiile unei amplitudini de oscilație longitudinale cât mai mari însoțită chiar de vibrații transversale parazite ale capătului. Avînd în vedere încercările preliminare asupra blocului ultrasonic astfel construit care să furnizeze date concrete ce pot completa insuficiențele în datele de calcul și proiectare din literatura de specialitate, lățimea ecliselor de legătură s-a adoptat maximă, astfel încît pe baza încercărilor și rezultatelor obținute care nu sînt de așteptat cele mai bune din primele faze, să se poată face ajustări mecanice privind dimensiunile transductorului în scopul îmbunătățirii comportării lui.

Acente ajustări se impun potrivit opiniei autorului, datorită necesității verificării unor date de proiectare care prezintă încă incertitudini sau sînt contradictorii (50), (23), (16), iar pe de altă parte reprezintă unica modalitate de a efectua încercări pentru diferite mărimi de transductori în situația unei limitări extreme privind cantitatea de nichel la dispoziție.

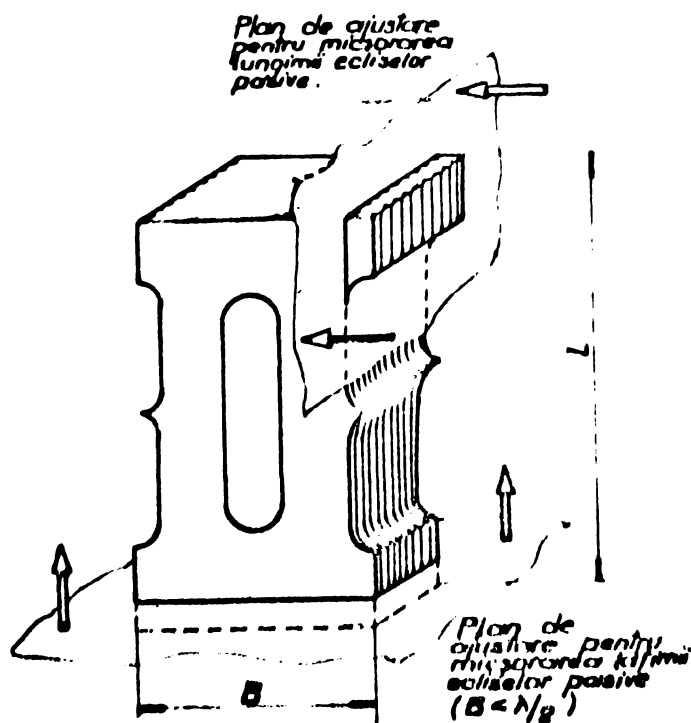


Fig. 7.8. Modul de ajustare al transductorului magnetostrictiv pentru încercări.

prima etapă a-a considerat oportună adaptarea următoarelor criterii:

- $\frac{S_c}{S_T} = 1$ adică $\frac{\text{secțiunea coloanelor}}{\text{secțiunea ferontrei}} = 1$ (23)
- lățimea ecliselor = 2 ori lățimea coloanei active pe considerentul naturii magnetice și redimensionării
- lățimea totală ce rezultă în urma raportului adoptat ($\frac{S_c}{S_T}$) precum și a racordărilor de capăt necesară din punct de vedere al rezistenței la oboseală atinge o limită aproape de $\lambda/2$.
- elementul principal la dimensionare îl constituie lungimea de rezonanță pentru frecvența de 25 kHz.

Tolele de Ni de grosime 0,1 mm ștanțate la dimensiunile și forma prezentată în figura 7.8. pe o ștanță special construită au fost după ștanțare recuplate la 850°C timp de 15/20 ore în cuptor cu bare de oțelită (atmosferă normală) asigurându-se pelicula protectoare de oxid. Se amintește că în afară de lungimea tolelor rezultate în urma calculului pentru frecvența de rezonanță celelalte dimensiuni sînt precizate conform criteriilor de proiectare date de literatura de specialitate (50), (23). Astfel pentru

Po baza datelor astfel impuse rezultă:

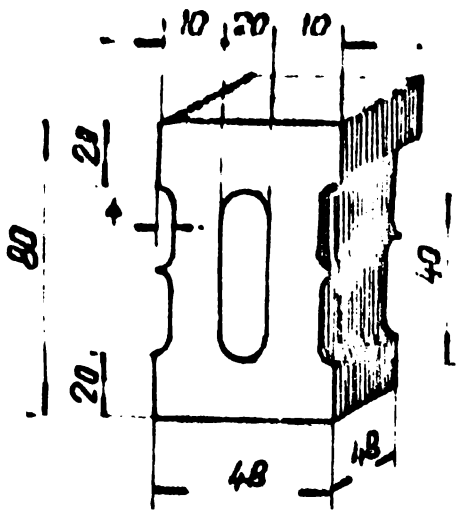


Fig. 7.11. Transductor din Ni
pentru încercări.

$$S_0 = 2 \times 10 \times 48 = 960 \text{ mm}^2$$

$$S_L = 20 \times 48 = 960 \text{ mm}^2$$

lungimea de rezonanță a transducerului este dată de relația:

$$L = -\frac{b}{4} \pm \sqrt{\frac{b^2}{16} + \frac{c^2}{4f^2}} \quad (7.2)$$

L - lungimea de rezonanță (cm)

f - frecvența (Hz)

c - viteza de propagare a undei elastice în materialul transducerului (cm/s).

Relația de calcul este aproximativă cu atât mai mult cu cât

ea este rezultatul unor simplificări succesive, iar parametrul c (viteza de propagare a undei elastice) este indicat cu valori diferite la diferiți autori $c = 4,75 - 4,86 \text{ km/sec}$ (50), $c = 4,76 \cdot 10^5 \text{ cm/sec}$ (23), (15), $c = 5,63 \cdot 10^5 \text{ cm/sec}$ (9).

În calculul transducerului pentru încercări preliminare s-au considerat următoarele valori: $b = 4,8 \text{ cm}$; $f = 25.000 \text{ Hz}$; $c = 4,76 \cdot 10^5 \text{ cm/sec}$ ceea ce duce la $L = 8,4 \text{ cm}$. Lungimea efectivă s-a luat de $L = 80 \text{ mm}$.

În ceea ce privește concentratorul se impune dimensionarea tot pentru frecvența de rezonanță pentru care se pornește de la ecuația diferențială ce definește propagarea undelor longitudinale plane într-o bară de secțiune variabilă, adică

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \cdot \frac{\partial}{\partial x} (\ln S_x) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (7.3)$$

În care

ϕ - este potențialul de viteze

S_x - aria secțiunii barei la distanța x de originea acesteia

c - viteza de propagare a undelor acustice prin materialul barei.

În cazul unui concentrator de tip exponențial variația secțiunii barei este dată de relația

$$S_x = S_0 e^{-2x} \quad (7.4)$$

S_0 - secțiunea la originea barei

L - o constantă ce caracterizează modul exponențial de variație a secțiunii în lungimea barei

În calculele practice se utilizează o relație inginerescă simplificată

$$L = \frac{n \cdot c}{2f} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln k}{\pi n}\right)^2} \quad (7.5)$$

în care:

L - lungimea concentratorului (cm)

f - frecvența (Hz)

c - viteza de propagare a vibrațiilor elastice în material (cm/s)

$$n = \frac{2L}{\lambda} = 1 \quad \text{iar} \quad k = \sqrt{\frac{S_0}{S_e}} = \sqrt{\frac{B^2}{b^2}} \quad \text{coeficientul de reducere a secțiunii:}$$

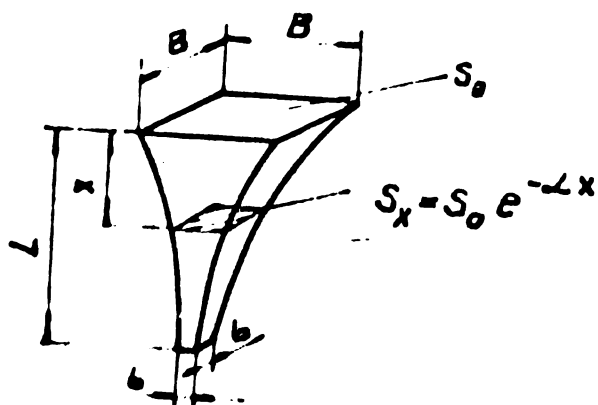


Fig. 7.12. - Concentrator exponențial

În cazul unui concentrator din oțel relația devine destul de pronunțată aproximativ datorită valorilor diferite ale lui c indicate în diverse surse și anume:

$$c = 5,15 \cdot 10^5 \text{ cm/sec (73)}$$

$$c = 5,05 \cdot 10^5 \text{ cm/sec (15)}$$

$$c = 5,81 \cdot 10^5 \text{ cm/sec (50)}$$

$$c = 5,9 \cdot 10^5 \text{ cm/sec (12)}$$

$$c = 4,88 \cdot 10^5 \text{ cm/sec (9)}$$

$$c = 5,25 \cdot 10^5 \text{ cm/sec (99)}$$

Adoptând valoarea $c = 5,81 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$ și pentru $k = 6$ pe baza relației 7.5 obținem $L = 136 \text{ mm}$.

Pentru determinarea formei exponențiale a concentratorului avem expresia variației generatoarei

$$b_x = B \cdot e^{-\frac{\lambda x}{2}} \quad \text{unde} \quad \lambda = 2 \cdot \frac{\ln k}{L} \quad (7.6)$$

Obținem pentru $\lambda = 0,263$ deci $b_x = 4,8 \cdot e^{-0,13x}$

Pentru $x = 10 \text{ mm}$ $b = 42,1 \text{ mm}$

$x = 20 \text{ mm}$ $b = 37,8 \text{ mm}$

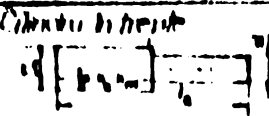
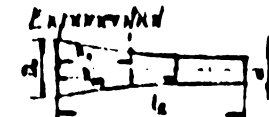
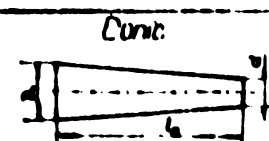
$x = 30 \text{ mm}$ $b = 33,9 \text{ mm}$

$x = 40 \text{ mm}$ $b = 28,6 \text{ mm}$

| | |
|------------|-------------|
| x = 50 mm | b = 25,1 mm |
| x = 60 mm | b = 22 mm |
| x = 70 mm | b = 19,4 mm |
| x = 80 mm | b = 14,9 mm |
| x = 90 mm | b = 13,5 mm |
| x = 100 mm | b = 11,5 mm |
| x = 110 mm | b = 10,1 mm |
| x = 120 mm | b = 8,9 mm |

In tabelul 7.3. sînt redade relațiile de dimensionare pentru tipurile cel mai des folosite de concentratori (50). După dimensionare și execuție, transductorul a fost asamblat prin suprapunerea tolelor de Ni, pachetul de tole fiind asigurat prin intermediul unor elemente cu strîngere (bride și gura-buri). Transductorul a fost atașat concentratorului după lustruirea și curățirea fețelor, prin lipire cu cositor. In capătul concentratorului s-a practicat un orificiu filetat M 6x10 pentru a putea prevedea prin înșurubare scule de diferite forme și dimensiuni. In felul acesta s-a realizat un bloc ultrasonic pentru lungimea de undă λ utilizat pentru încercările preliminare.

Tabelul 7.3

| Tipul concentratorului | Factorul de calitate Q | Lungimea de rezonanță l_r (cm) | Coordonata maximă de amplitudă x_0 (cm) |
|---|---|--|--|
|  | $Q_0 = \left(\frac{D_0}{d}\right)^2 - N^2$ | $l_0 = \frac{\lambda}{2} - \frac{V_0}{v_{st}}$ | $x_0 = \frac{l_0}{2} - \frac{V_0}{4v_{st}}$ |
|  | $Q_0 = \frac{D_0}{d} - N$ | $l_0 = \frac{V_0}{2f} \sqrt{1 + \left(\frac{\ln N}{\eta}\right)^2}$ | $x_0 = \frac{l_0}{\eta} \operatorname{arccot} \left(\frac{\ln N}{\eta}\right)$ |
|  | $Q_0 = \sqrt{1 + \left(\frac{2f l_0}{\lambda}\right)^2}$ $Q_0 < N$ | $l_0 = \frac{\lambda}{2} \times \frac{(a/c)^2}{\eta}$ unde (a/c) rădăcina ecuației $\tan(a/c) = \frac{(a/c)}{(1-N)^2 + 1}$ | $x_0 = \frac{l_0}{a} \times \ln \tan \left(\frac{a}{a_r}\right)$ $a = \frac{2f}{V_0}$ |

Ca urmare a încercărilor (descrise pe larg în paragraful 7.5 și 7.6) se constată că în mare măsură calculul de proiectare pentru frecvența de rezonanță la transductori și concentratori ține cont prea puțin de o serie de factori ce pot acționa într-un sens sau altul privind modificarea eficienței în funcționare. Literatura de specialitate deși prezintă numeroase relații de calcul (69), (50), (23) unele chiar foarte detaliate, încercate și de autor,

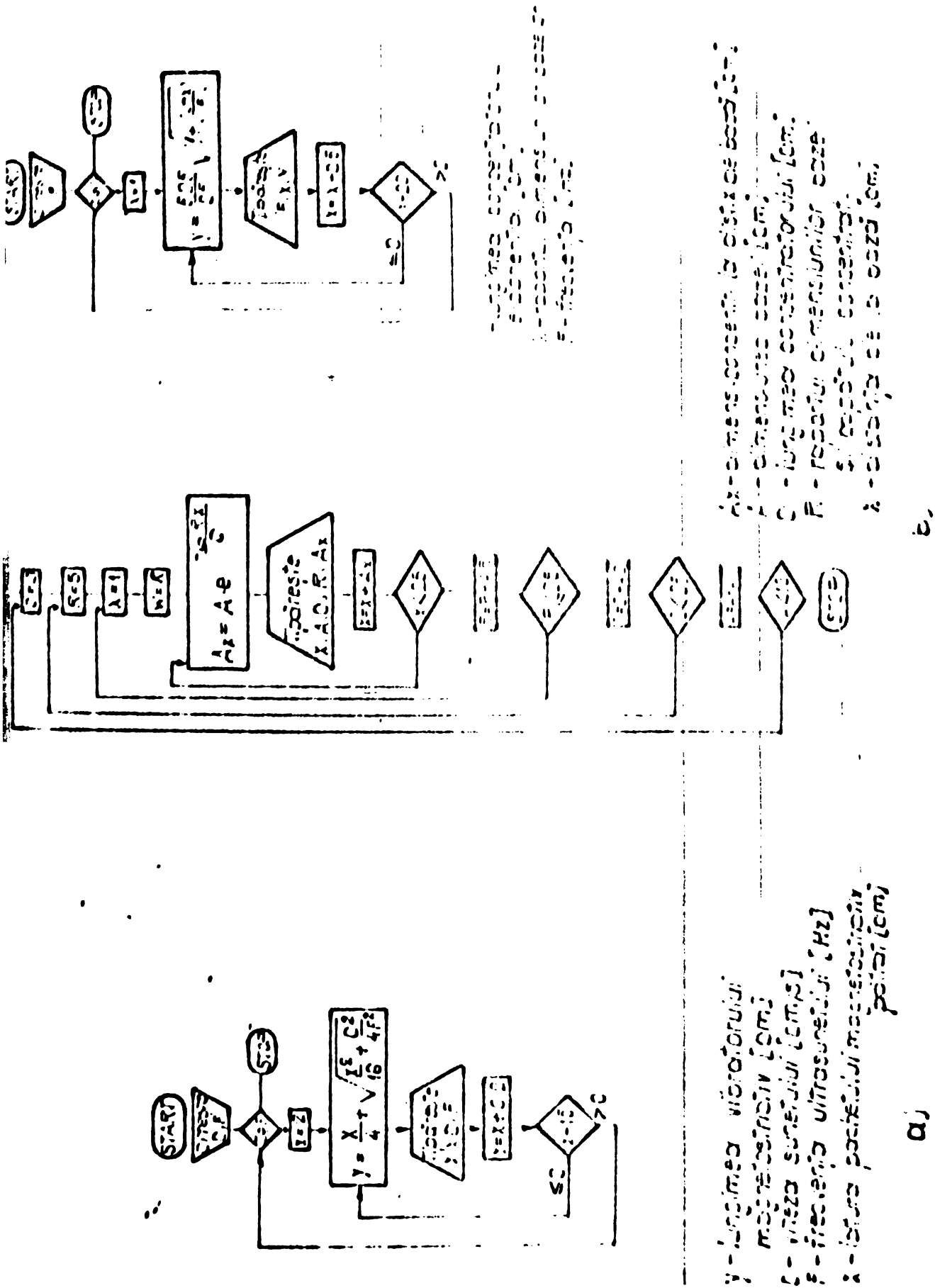


Fig. 7.14 Organigrame pentru calculul transductorilor metalici și concentratorilor exponențiali

se constată că totuși ele nu concordă satisfăcător cu realitatea. Se pare că caracterul complex al fenomenelor din timpul lucrului, respectiv asamblarea mecanică transductor-concentrator calculate ca elemente oscilante separate duce în final la realizarea unui ansamblu (BU) care nu totdeauna are aceeași frecvență de rezonanță ca cea inițial admisă.

Față de această situație literatura semnalează exemple de dimensionare și proiectare a elementelor blocurilor ultrasonice pe bază de nomograme (99), (111) suficient de exacte și foarte expeditivă cu atât mai mult cu cât în majoritatea cazurilor se

impun ajustări ulterioare.

În figura 7.13 și tabelul 7.4 se prezintă o nomogramă și elementele necesare calculului de proiectare a concentratorilor exponențiali pe baza unei relații simplificate

$$l_p = \frac{C}{2f} \epsilon_1 \quad (7.7)$$

la fel ca și la concentratorii cilindrici, dar ajustată cu coeficientul ϵ_1 , dat tabelar funcție de gradul de reducere al secțiunii N , (111).

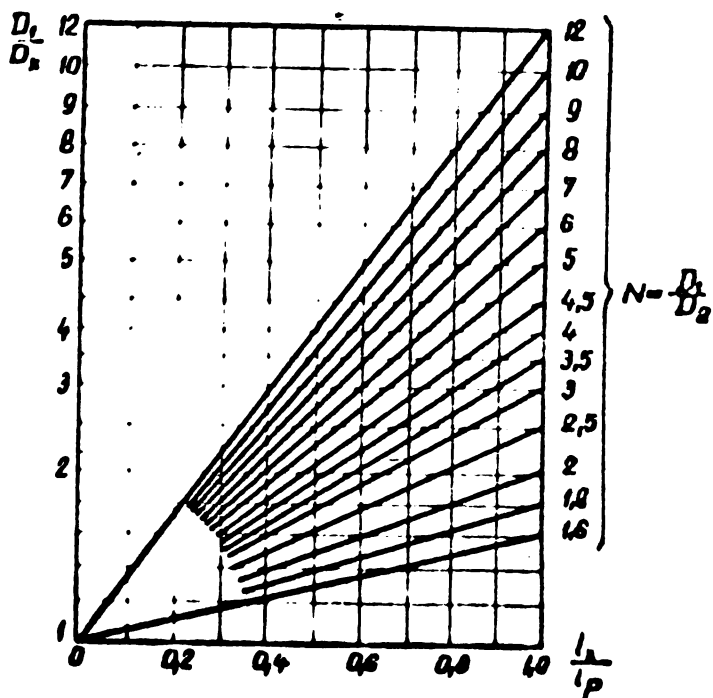


Fig. 7.13 - Nomogramă pentru calculul de proiectare a concentratorilor exponențiali (111).

Tabelul 7.4

| N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ϵ_1 | 1.00 | 1.10 | 1.20 | 1.30 | 1.40 | 1.50 | 1.60 | 1.70 | 1.80 | 1.90 | 2.00 | 2.10 | 2.20 | 2.30 | 2.40 |

Avînd în vedere cele de mai sus autorul a utilizat și o altă modalitate de dimensionare a transductorilor și concentratorilor și anume folosind relațiile general admise la proiectare (7.2), (7.4), (7.5), și luînd în considerare variația parametrilor inițiali (frecvență, viteza sunetului, coeficientul de reducere al secțiunii) a făcut prelucrarea acestora și tabelarea

rezultatelor cu ajutorul calculatorului electronic Pelix C 256. Figura 7.14 reprezintă organizarea utilizată în proiectul de proiectare a unui bloc ultrasonic cu transductor magnetostriCTOR tip pachet și concentrator exponențial.

În situația introducerii frecvențe în instalațiile ultrasonice a feritelor sau aerometrelor electroacustice care au livrarea pentru o frecvență dată, problemele de dimensionare a concentratorilor și determinarea frecvenței de rezonanță prin calcul devine de fapt nerăzională existând în ora actuală aparatură specializată în acest scop. Astfel se prezintă "analizorul de concentratori" (horn analyser) model 20k produs de firma Sonotek & Materials, Inc. cu determinarea directă și afișarea a frecvenței de rezonanță;

Pe de altă parte în instalațiile ultrasonice de construcție modernă (magini de prelucrat sau magini de sudat cu ultrasunete) progresele recente au permis introducerea generatoarelor cuplate cu blocurile ultrasonice cu autoreglare pe frecvențe de rezonanță.

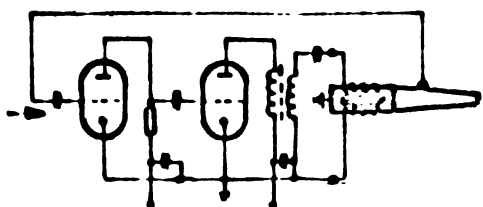


Fig.7.15.-Generator cu bloc ultrasonic cu autoreglare pe frecvența de rezonanță tip KLN GmbH (RFG) (100).

Schema de principiu a unei asemenea instalații este prezentată în figura 7.15.

La aceasta pe concentrator se află dispus un transductor piezoceramic a cărui tensiune este folosită pentru reacția cu impune cu ansamblul acustic (BU) să vibreze pe frecvența de rezonanță indiferent de condițiile de lucru (100).

7.4. Tehnologia de execuție, montajul, adaptarea la generator și adaptarea sculelor la blocul ultrasonic.

În mare măsură performanțele și modul de funcționare a unui bloc ultrasonic pot fi influențate hotărâtor de tehnologia de execuție. În cazul transductorului metalic prezintă importanță recunoașterea corectă a tolelor, gănțarea pe direcția liniilor de luminare, forma constructivă, modul de asamblare a pachetului, modul de atașare a concentratorului pe lîmă corectă lui dimensionare. Eficiența BU (eficiență se consideră funcționarea în

regim de rezonanță la amplitudine maximă) este influențată și de legătura mecanică nu totdeauna "rigidă" a unor scule de mărime, configurație și mase diferite. De asemenea eficiența RU poate fi influențată negativ ca urmare a unei fixări necorespunzătoare în carcasă ("izolare acustică" necorespunzătoare), modificarea simetrici formei concentratorului la sistemele cu pompare sau aspirație sau reglări incorecte a regimurilor de excitație în tendința de a lucra la puteri cât mai mari.

În sfârșit un rol esențial îl are modul de confecționare a concentratorilor și materialul utilizat pe lângă dimensionarea corectă.

Astfel urmărind comportarea a diferite construcții de transductori încercările noastre au pus în evidență (în corelația cu datele din literatură de specialitate) că pentru a evita ruperile în locurile de trecere a tijei spre eclisă se impun racordări constructive cu atât mai mult cu cât tolele sînt mai subțiri. Schema cu circuit magnetic închis deci transductor cu două coloane active este cea mai rațională la puteri mari deoarece pierderile sînt minime.

Odată cu mărirea înălțimii eclisei pasive din punct de vedere magnetostriktiv tendința este spre scăderea amplitudinii părții frontale și de aceea înălțimea eclisei trebuie să fie minim admisibilă ceea ce e limitat în general de pericolul oscilațiilor de încovoiere și de lățimea de saturație.

În construcțiile existente se consideră optimă valoarea

$$d = (0,8 - 1,2) a$$

unde

d- lățimea eclisei

a- lățimea coloanei active.

Frecvența proprie a pachetului în care se folosește efectul de magnetostricțiune longitudinală nu depinde de grosimea acestuia t , cu condiția ca $t < \lambda/2$. În caz contrar încep să aibă o influență considerabilă și oscilațiile transversale ale capătului frontal. Acestea duc de obicei la reducerea frecvenței de rezonanță și micșorarea eficienței transductorului. Pentru a reduce influența oscilațiilor transversale lățimea frontului trebuie să fie minimă, iar valoarea ei efectivă e impusă de condițiile de aplicare a înfășurărilor de excitație (50.). După Markov raportul d_0/d_1 unde d_0 -aria coloanelor iar d_1 -aria

suprafeței radiante a secțiunii transversale trebuie să nu fie mai mică de 0,65-0,75. Această afirmație vine în contradicție cu valoarea de $S_c/S_u = 1$ dată de alți autori (13), (23). Suprafața radiantă a pachetului se alege pe baza recomandărilor privind puterea generatorului și caracteristicile materialului magnetostriktiv ținând cont de încărcările specifice admise pentru fiecare caz în parte. În această privință încă datele pe care le oferă literatura de specialitate nu sînt unitare (9), (50), (13). Astfel evaluările făcute la încercările noastre au arătat că transductorii manufacturați în laboratorul de T.C.M. aveau limitări ale încărcării specifice la ieșire de circa 16-18 w/cm², dar aceste valori pot să crească prin înlăturarea imperfecțiunilor de tehnologie. Pentru nichel se pot considera normale chiar valori de 30-50 w/cm² putere acustică specifică.

La încercări s-a constatat că transductorul asamblat din tole prin strîngere la capete cu bride și guruburi reprezintă o soluție nu tocmai indicată deoarece la puteri mai mari aproape de regimul de saturație magnetică, tolele de margine mai ales au tendința să vibreze pe frecvențe joase parazite ca și membrane incastrate la capete, producînd suprapunerea acestor vibrații parazite peste vibrația ultrasonică și avînd ca rezultat ugoara denaturare a sistemului vibrator, disipare de energie prin supraîncălziri și zgomoturi cuprîtoare chiar.

În cazul încercărilor noastre s-a avut în vedere și varianta lipirii tolelor transductorului cu rășini epoxidice speciale, deși acestea duc la reducerea factorului de calitate a

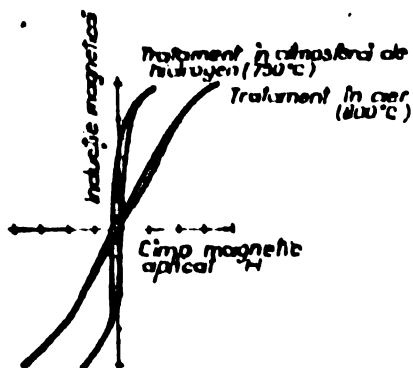


Fig.7.16-Poziția curbei de histereză ca urmare a tratamentului termic (13).

transductorului (50), însă această reducere poate fi în parte compensată făcînd un tratament termic corespunzător al tolelor în atmosferă de hidrogen. Așa cum se vede din figura 7.16 curba de histereză se apropie foarte mult de verticală însă dezavantajul acestui tratament ar fi tocmai lipsa peliculei de oxid, rol pe care urmează însă să-l preia tocmai stratul de rășină aplicat. Realizarea unor blocuri

ultrasonice folosind rășini epoxidice speciale la asamblare a mai avut în vedere și următoarele aspecte:

- lipirea tolelor transductorului cu rășini epoxidice duce la o bună izolare a tolelor una față de cealaltă asigurând astfel reducerea substanțială a pierderilor prin curenți turbionari. Se știe că în cazul vibratorului asamblat din plăci de Ni la o frecvență de rezonanță de 20 kHz pierderile datorită curenților turbionari sînt de 67%, iar cele de histerezis de 33% din valoarea totală a pierderilor (50).

- lipirea cu rășini epoxidice speciale rezistente la vibrații cum sînt aralditul AW 106, AW 116 cu întăritorul HV 953 produse de firma CIBA (Elveția) au în vedere și faptul că ele reduc substanțial tendința tolelor de margine de a vibra parazit pe frecvențe joase și conferă transductorului rezistență la coroziune față de mediul apos ce realizează răcirea lui.

În utilizarea rășinilor epoxidice există însă și limite legate de durabilitatea acestor rășini pe care încă nu am avut posibilitatea să le încercăm la funcționare de durată și în al doilea rînd că nu toate rășinile cu rezistență la vibrații și șocuri permit temperaturi ridicate și ca atare se impune lipirea transductorului de concentrator tot prin rășini ceea ce duce la scăderea eficienței. Față de această situație s-a utilizat la încercări și rășina araldit Z 15 cu întăritor HY 15 recomandată de firmă, care se întărește la temperaturi mai mari de 200°C și permite deci lipirea cu cositor a concentratorului la fața transductorului, iar pe de altă parte lipirea este mai puțin sensibilă la o răcire necorespunzătoare în timpul funcționării. Tot rășini epoxidice speciale (araldit AV 123 B cu întăritor HY 956) s-au utilizat la lipirea transductorilor pe bază de ferite cu concentratorii.

În privința concentratorilor încercările noastre au pus în evidență că la concentratorii cu grad mare de reducere a secțiunii ($N > 5$) există o comportare necorespunzătoare din punct de vedere al vibrațiilor transversale parazite, favorizîndu-le pe acestea. Astfel blocul ultrasonic construit cu $N > 5$ a făcut imposibilă debitarea de precizie a unor plăcuțe de germaniu.

De asemenea s-a constatat deficitară ideea utilizării unui concentrator exponențial de secțiune patrată care pe lîngă dificultatea realizării lui pune probleme la realizarea suspen-dării în carcasă a blocului ultrasonic respectiv etanșarea lui.

Din punct de vedere al posibilităților de evaluare a amplitudini oscilațiilor și localizării modului de-a lungul concentratorului cu ajutorul traductorului inductiv, concentratorii exponențiali sînt necorespunzători folosindu-se în acest scop observarea tendinței de migrare spre nod a carburii de siliciu presărate pe o latură în timpul funcționării. Astfel încercările ulterioare au avut în vedere mai mult utilizarea concentratorilor conici sau cilindrici în trepte.

Ca materiale se recomandă în primul rînd aliaje pe bază de titan (mai greu accesibile), duraluminiiu (neindicat însă la schimbările frecvente ale sculei prin îngurubare) sau oțeluri inoxidabile de bună calitate.

Prelucrarea concentratorilor se cere să fie cît mai îngrijită ca formă și calitate a suprafeței, iar în cazul concentratorilor cu flanșă racordările din nodul de oscilație să fie mari. Incercările noastre au pus în evidență tensiunile mari ce pot să apară în special în concentratorii cilindrici în trepte și anume un asemenea concentrator prelungitor ($\varnothing 10$) în $\lambda/2$ atașat blocului ultrasonic, din OEC 10 călit la 800°C și revenit la 200°C a fisurat în nodul de oscilație după numai 8 ore de funcționare. Acest efect a fost se pare determinat mai ales de tensiunile remanente din material în urma tratamentului termic. Totodată se constată că concentratorul exponențial sau conic are o tendință mult mai redusă de dependență a poziției nodului de oscilație funcție de masă și dimensiunile sculei atașate așa cum prezintă de fapt concentratorii cilindrici în trepte. Se constată în plus, lucru remarcat și de alți cercetători (69), (50) că cu cît coeficientul de amplificare sau factorul de formă a concentratorului (N) crește cu atît punctul nodal se deplasează față de mijlocul concentratorului iar sistemul oscilant devine mai sensibil la variația sarcinilor.

În ceea ce privește sculele utilizate acestea au avut o mare varietate de configurații și mărimi însă pentru facilitatea încercărilor toate au fost atașate blocului ultrasonic la capătul concentratorului prin îngurubare.

Observațiile noastre în urma încercărilor pe diferite tipuri de scule au scos în evidență cîteva efecte mai particulare:

- deși modul corect de atașare a sculei îl prezintă sudarea sau lipirea schimbarea frecvență a sculei datorită unor

cerințe de prelucrare și ca urmare a uzurii sculei impune atașarea prin înșurubare, deși aceasta constituie o fragmentare nodorită a traseului acustic.

- s-a constatat că atașarea prin înșurubare reprezintă o zonă cu încălziri puternice în funcționare, o secționare a traseului acustic cu atât mai severă cu cât înșurubarea e mai proastă.

- în cazul unor concentratori cu grad mare de reducere al secțiunii acest lucru este și mai amplificat de existența vibrațiilor transversale parazite.

- s-a constatat pe de altă parte că dimensiunile forma și configurația sculei pot avea o influență apreciabilă chiar asupra frecvenței de rezonanță, asupra mărimii amplitudinii de vibrație în sensul diminuării ei și în unele situații chiar asupra stabilității abrazivului sub sculă sau a pătrunderii lui în timpul prelucrării.

- au prezentat o comportare total necorespunzătoare ca productivitate, fenomen al prelucrării și calitate sculele ce prezentau dimensiuni mai mari decât capătul concentratorului sculele cu trepte și intrînduri ce favorizează aglomerarea abrazivului în locurile respective.

- cu creșterea masei sculei se constată scăderea amplitudinii vibrației corelată și cu modificarea frecvenței de rezonanță. La fel acționează și lungimea sculei.

Față de acesta situația care de fapt reclamă un studiu mai aprofundat s-au putut trage doar câteva concluzii conforme de fapt cu cele redată în literatura de specialitate (69) și anume:

- nu se recomandă fusuri de ghidare pentru scule
- lungimea rațională pentru porțiunea de îmbinare filetată presupune un număr minim de spire
- datorită vibrațiilor se reduce unghiul de autofrînare și se impune un filet cu pas fin.
- locul de contact al suprafeței frontale a concentratorului cu cel al sculei trebuie să fie neapărat în nodul de tensiune. Se impune o înșurubare eficientă pe o suprafață de contact cât mai mare. În figura 7.2. pe lângă câteva blocuri ultrasonice sînt prezentate și câteva tipuri de scule.

Adaptarea ieşirii generatorului cu sarcina

(inductivă în cazul transductorilor metalici sau feritelor) constituie unul din factorii care asigură buna funcţionare a blocului ultrasonic şi obţinerea randament bun al întregii instalaţii. Această acordare a sarcinii la generator a pus problema şi în cazul nostru între altele metodele de care nu se dovedesc destul de aproximative şi insuficiente impunând ajustări experimentale. Ca urmare s-au încercat mai multe metode experimentale de acor-

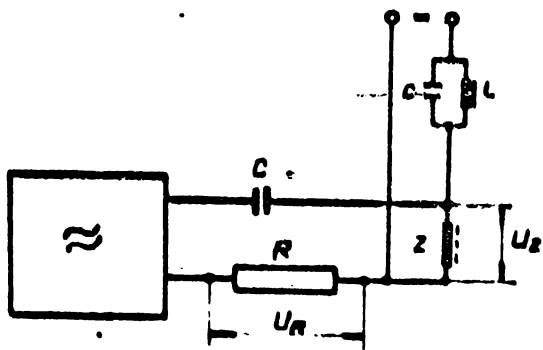


Fig.7.17-Montaj experimental pentru măsurarea impedanţei transductorului.

de tensiunii pe sarcină şi pe o rezistenţă ohmică cuplată în serie la ieşirea din generator ($Z = R \frac{U_Z}{U_R}$)

Pe de altă parte aprecierea corectitudinii adaptării generatorului cu sarcina s-a putut face prin tatonări urmărind obţinerea amplitudinii maxime de oscilaţie la capătul concentratorului, respectiv urmărind efectul maxim ce-l produc blocurile ultrasonice cufundate în apă cu capătul concentratorului la nivelul apei din recipient (se urmăreşte efectul de turbionare şi efectul de dispersie a vaporilor de apă pe verticală).

7.5. Criteriul de apreciere al eficienţei blocurilor ultrasonice, încercarea lor şi determinarea regimurilor optime de excitaţie.

Determinarea amplitudinii oscilaţiei la capătul concentratorului cât şi pe lungimea acestuia pentru localizarea precisă a nodurilor şi antenelor constituie o preocupare majoră în cercetarea blocurilor ultrasonice, deoarece raportat la o anumită

cantitate de energie absorbită de la generator, valoarea amplitudinii oscilației reprezintă indicele cel mai semnificativ privind eficiența blocului ultrasonic, mai ales în condițiile prelucrării ultrasonice unde amplitudinea este unul din factorii tehnologici de bază.

Există numeroase încercări privind determinări cât mai exacte ale amplitudinii și în mare măsură diversitatea metodelor și echipamentului folosit se datorează faptului că în primul rând nu există aparatură și un sistem de măsurare standard general acceptabil pentru măsurări la frecvențe așa de înalte ($> 20 \text{ kHz}$), iar pe de altă parte nu există, datorită relativei noutăți a cercetărilor în acest domeniu o metodă unanim acceptată de cercetătorii din acest domeniu.

Merită amintite pentru rigurozitatea lor printre altele metodele optice de filmare rapidă (45), cele stroboscopice (104) care deși au dat rezultate bune nu se pot considera pe deplin satisfăcătoare și accesibile. Aparatura și transductorii obișnuiți nu dau rezultate fiind necesară utilizarea unei aparaturi specializate, însă impedimentul major e legat de faptul că deși firmele de specialitate (Bruel & Kjaer) produc transductori accelerometrici cu bandă înaltă de frecvențe (tip 8307 și 8309) aceștia au o utilizare limitată datorită nivelului accelerațiilor admise. Or în instalațiile tehnologice cu ultrasunete la frecvențe de 20 kHz amplitudini de circa $10-20 \mu\text{m}$ dacă sînt uzuale ele sînt periculoase deja pentru transductorii accelerometrici amintiți. Căci acest impediment al măsurărilor se impune totuși a fi depășit chiar în limita unei măsurări mai puțin precise în sensul obținerii unor valori relative de comparație și nu a unor valori absolute s-a recurs în diverse situații la diferite metode combinate.

Avînd în vedere aceste criterii autorul a urmărit evaluarea amplitudinii oscilațiilor la capătul concentratorului blocului ultrasonic utilizînd trei sisteme de bază:

- sistemul de evaluare cu ajutorul transductorilor accelerometrici de înaltă clasă
- sistemul de evaluare cu transductori *electrodinamici* speciali manufacturați
- sistemul de evaluare optic.

Sistemul de evaluare a amplitudinilor cu ajutorul traductorilor accelero-metrici; montajele, aparatura și rezultatele obținute sînt pe larg redată în paragraful 7.6.

Sistemul de evaluare cu traductori (electrodinamici) se bazează pe un tip de traductor special utilizat de Herbertz și Dobson (26), (21) în cercetările asupra blocurilor ultrasonice și pus la punct relativ recent la noi în țară de către un colectiv de la ICEM București condus de Dr. O. Drăgan (20).

Traductorul electro-dinamic (figura 7.18) folosit la măsurarea amplitudinii vibrațiilor de frecvență ultrasonică în direcție longitudinală într-un corp solid constă dintr-un magnet permanent în formă de potcoavă și o bobină rectangulară fixată simetric între poli magnetului astfel încît cîmpul magnetic constant trecînd prin bobină este 0. Cîmpul magnetic constant al traductorului cauzează curenți turbinari alternativi în suprafața corpului proporționali cu amplitudinea vibrației. Cîmpul magnetic alternativ al acestor curenți turbinari cuprins de bobină generează o t.e.m. la ieșirea traductorului.

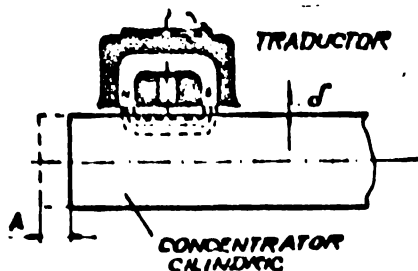


Fig.7.18.-Schema traductorului electro-dinamic

Se obține la o variație liniară o sensibilitate foarte bună (pînă la 200-300 mV/μm) care depinde de diametrul concentratorului, de distanța δ față de concentrator, de intensitatea cîmpului magnetic, numărul de spire al bobinei.

Sensibilitatea este aproape independentă de rezistența electrică a mediului.

La dimensiuni mici de construcție a acestui tip de traductor distribuția sinusoidală a amplitudinii are numai o mică influență asupra preciziei de măsurare în orice poziție.

Încercările noastre au dus la manufacturarea a 2 traductori cu 1700 și respectiv 2200 spire la o deschidere de circa 10 mm între poli (figura 7.19) care au fost utilizați în special la determinări privind locul de plasare a nodurilor și ventrelor de oscilație pe concentratori cilindrici sau conici.

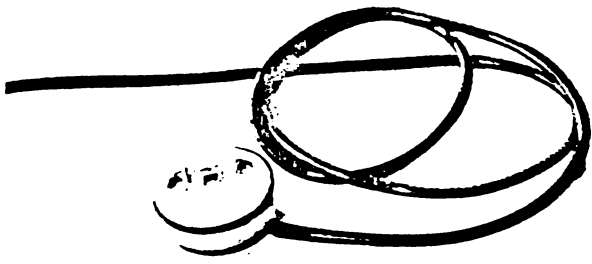


Fig. 7.19. - Traductor electrodinamic

Cu toată sensibilitatea lor ridicată nu s-au putut utiliza cu deplină încredere pentru determinarea absolută a amplitudinii oscilațiilor ^{x)} mai ales din cauza receptivității lor la frecvențele parazite joase (este dificilă protejarea traductorului de interferențele electromagnetice ale mediului său), ceea ce denaturează de fapt răspunsul lor real la frecvențe înalte.

Având în vedere și dificultatea etalonării pentru prima etapă a cercetărilor utilizarea acestor traductori a avut doar un caracter informativ și de comparație.

Rezultate mai concludente a dat sistemul de evaluare respectiv etalonare pe bază optică. Astfel un concentrator cilindric (cu ϕ interior pe $\lambda/4$) a fost atașat unui bloc ultrasonic aflat pe un montaj cu mese în coordonate și un suport central fix. (figură 7.20).

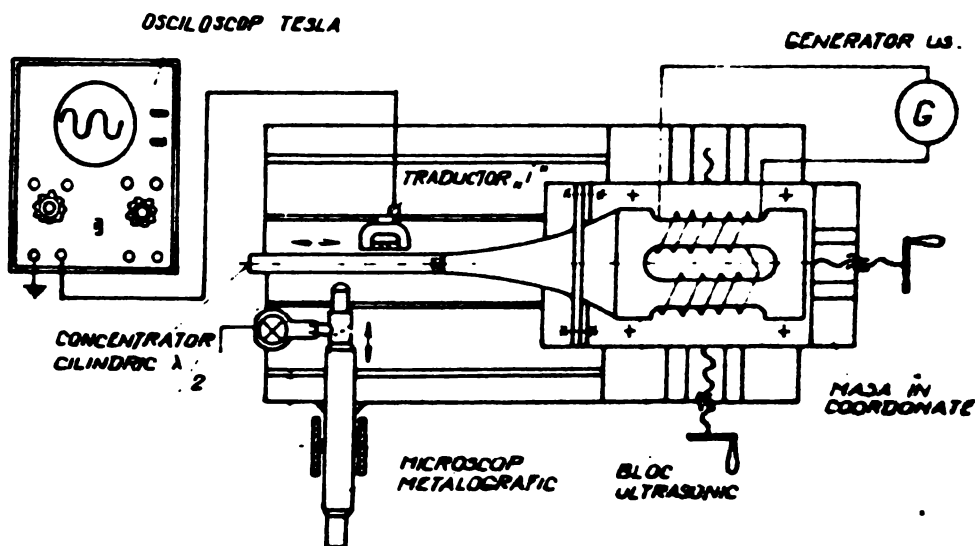


Fig. 7.20. Montajul pentru evaluarea pe cale optică și electrodinamică a amplitudinii oscilațiilor.

x) Deoarece valorile absolute ale amplitudinii oscilațiilor pentru un anumit regim de putere și excitație indică cu claritate performanțele utilitatii și stadiul realizărilor și stadiul realizărilor într-un domeniu înțeles, s-a considerat indicarea acestor valori ca o problemă cu caracter intern încă neaccesibilă publicării.

Pe o generatoare concentratorul a fost lustruit metalografic suprafața lustruită fiind vizată lateral de un microscop tip UR special adaptat și montat. Cu ajutorul microscopului și prin manevrarea ale montaj suport de focalizare și înclinare, toate de funcționare apropiată de un ajustare mult mai bună decât în timpul funcționării se măsoară direct amplitudinea la nivelul încluziunii rezultând valoarea amplitudinii pe măsurarea înălțimii înălțimii încluziunii din care se direct (Figura 7.21).

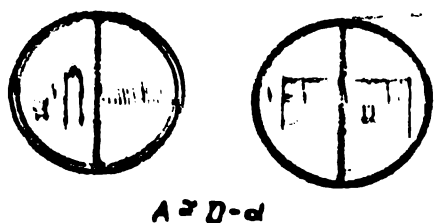


Fig.7.21-Imaginea incluziunii înainte și în timpul funcționării B.U.



Fig.7.22-Imaginea de ansamblu a standului pentru evaluarea pe cale optică și electrodinamică a amplitudinii oscilațiilor.

Fotografia de ansamblu a montajului combinat pentru evaluarea mărimii amplitudinii oscilațiilor este redată în fig.7.22.

Deși această metodă s-a dovedit cea mai apropiată de cerințele unei determinări exacte a amplitudinii absolute a oscilației autorul nu poate să nu remarce și unele inconsecvențe ale ei legate de asemenea de apariția vibrațiilor parazite mai ales transversale care produc denaturări ale imaginii clare impunând chiar o ghidare precisă a capătului concentratorului cilindric. La regimuri mai puternice de excitație de asemenea măsurătorile devin dificile în sensul exactității lor.

Față de acestea se consideră că în etapa actuală evaluarea chiar și aproximativă cu aceste metode a amplitudinii oscilației reprezintă o informație foarte prețioasă pentru constructorul de aparatură ultrasonică.

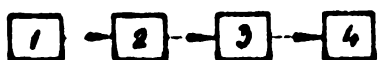
Pe baza elementelor anterior determinate s-a pus problema determinării regimului optim de excitație având în vedere o funcționare cât mai corectă și eficientă în regim de rezonanță.

Acest studiu a urmărit comportarea de ansamblu a blocului ultrasonic la mers în gol și în mod deosebit variația amplitudinii la capătul concentratorului ca un indice al eficienței în funcționare.

Acest parametru a fost urmărit în funcție de:

- valoarea curentului de premagnetizare din înfășurările transductorului metalic (Ni)
- puterea de ieșire a generatorului.
- distribuția pe lungimea concentratorului.

Astfel pentru studiul comportării blocului ultrasonic s-a impus necesitatea determinării experimentale a caracteristicii magnetostrictive a transductorului având în vedere că modul de asamblare, forma și dimensiunile acestuia și întreg ansamblul bloc ultrasonic realizat ar putea modifica forma teoretică a curbei de magnetostricțiune (cunoscută din literatura de specialitate), iar pe de altă parte se impunea precizarea cât mai corectă a porțiunii favorabile a curbei de magnetostricțiune în funcție de un parametru ce se poate urmări și regla direct de la generatorul de ultrasunete



- 1 - cablaj și filtraj cu tensiune regulată
- 2 - transductor (vibrator magnetostrictiv)
- 3 - transductor piezoelectric
- 4 - rugosimetru Bruel-Kjaer 8102

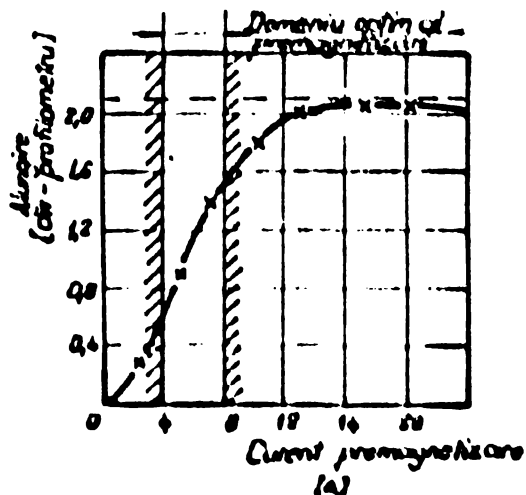


Fig. 7.3. - Schema bloc a montajului pentru determinarea curbei de magnetostricțiune.

Fig. 7.4. - Curba de magnetostricțiune a transductorului experimental montat din el.

Astfel pe un montaj a cărui schemă bloc este redată în figura 7.23 s-a înregistrat curba de magnetostricțiune a transductorului experimental confecționat din nichel (descrie în paragraful 7.3).

Curba obținută este redată în diagrama din figura 7.24. În care se vede că un curent de premagnetizare de 12,5A produce un câmp magnetic corespunzător saturației și totodată se vede că porțiunea cu pantă optimă este cea corespunzătoare unui curent de premagnetizare cuprins între 4 și 8 A.

Premagnetizarea în excitația blocurilor ultrasonice pe bază de transductori metalici se impune tocmai pentru evitarea dublării frecvenței de funcționare (figura 7.25) și pentru obținerea unei amplitudini maxime de oscilație.

În tabelul 7.5 se indică caracteristicile principale ale traductorului accelerometric KD 14-RPT utilizat pentru efectuarea încercărilor. Traductorul ales nu este cel mai indicat pentru măsurarea amplitudinii vibrațiilor de frecvență ultrasonice la 20-25 kHz deoarece răspunsul la frecvențe mai mari de 15 kHz este (deci pentru frecvențe mai mari decât cele din domeniul benzii mijlocii în care sensibilitatea e independentă de frecvență) funcție de caracteristicile mecanice ale traductorului accelerometric. Acest răspuns depinde în primul rând de frecvența de rezonanță f_0 și de amortizarea vâscuoasă. În cazul nostru s-a considerat că pentru determinări inițiale pe o frecvență fixă și la valori ale amplitudinilor ce nu produc accelerații periculoase pentru înălțimea construcției traductorului, se pot obține valori ale semnalului de ieșire ce pot fi ușor comparate între ele și pot da o imagine destul de fidelă asupra regimului vibrator.

Având în vedere acest lucru s-a considerat că pentru ^Stot de măsurători relative este suficient de concludentă și exactă indicația semnalului de ieșire în volți pe osciloscop, semnal proporțional cu accelerațiile la capătul contracturului și care sînt importante chiar din punct de vedere al dinamicii prelucrării (mecanismul prelucrării așa cum este el, adică

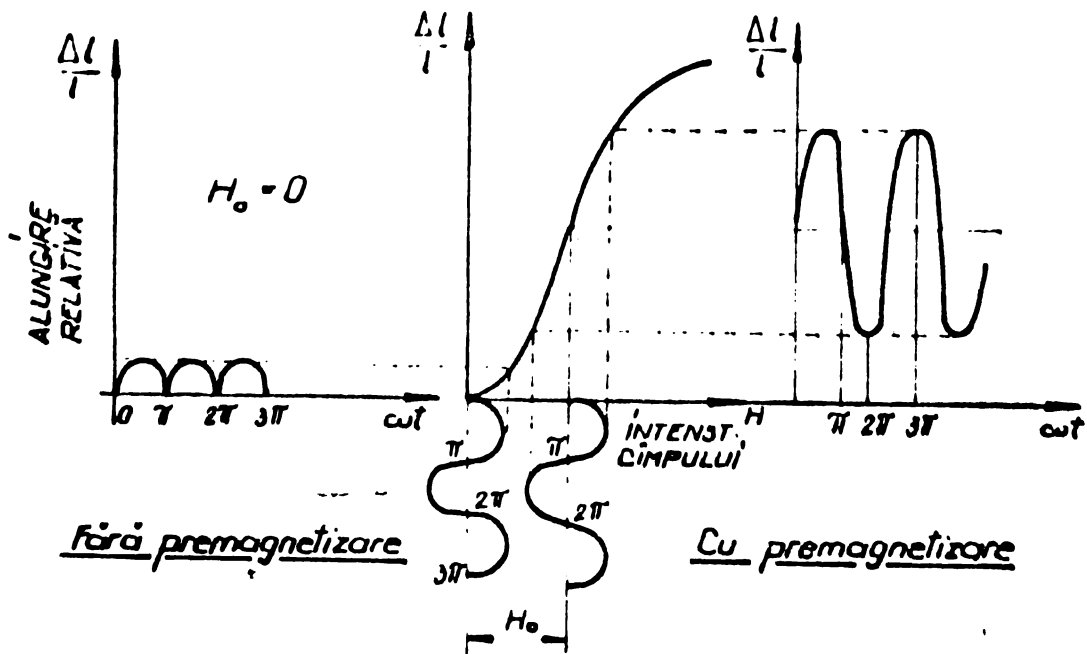


Fig. 7.25.- Rolul premagnetizării în excitația B.U. precupune un fenomen de accelerare a particulelor de abraziv)². Pentru măsurări ale valorilor absolute ale amplitudinilor se impun folosirea traductorilor accelerometrici de înaltă clasă de frecvență proprie mult mai ridicată împotriva cu elemente de întoarcere.

tabelul 7.5

| Tipul traductorului | Sensibilitate B_{\perp} | Acceleratia maxima | Frecvența de rezonanță |
|---------------------|---------------------------|---|------------------------|
| KD14 - RFT | 1mv/ms ² | 50000 ms ⁻² (sem sinusoidal) 200000 ms ⁻² (forma de impulsuri) | 45 kHz |

Amplas pe baza schemei de măsurare redată în figura 7.26 și

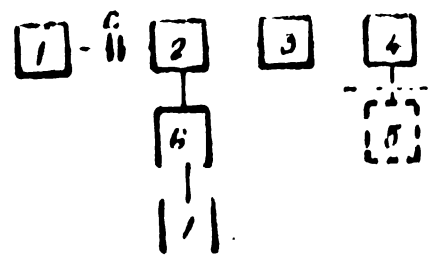


Fig. 7.26. Schema de măsurare a vibrațiilor de rotație a motorului de antrenare a amplitudinii oscilațiilor.

7.27 se studiază influența orientării de premagnetizare și a puterii de la generatorul asupra măsurii amplitudinii oscilațiilor. Se poate observa că amplitudinea oscilațiilor este proporțională cu puterea generatorului. Prin urmare, pentru a obține o măsură precisă a amplitudinii oscilațiilor este necesar să se controleze puterea generatorului.

Urmarind rezultatele obtinute rezultă că valoarea curentului
 im de premagnetizare corespunde unui curent cu intensitatea
 care 4 și 8 amperi, iar creșterea peste valoarea de 8 amperi

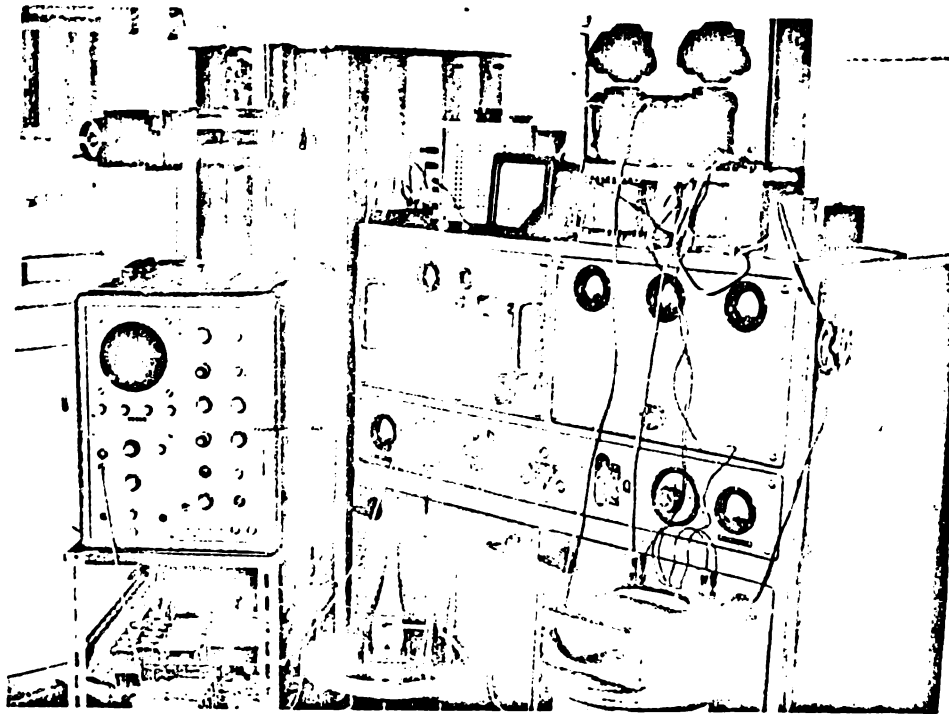


Fig. 7.27.- Vedere generală a montajului pentru măsurarea amplitudinii oscilațiilor.

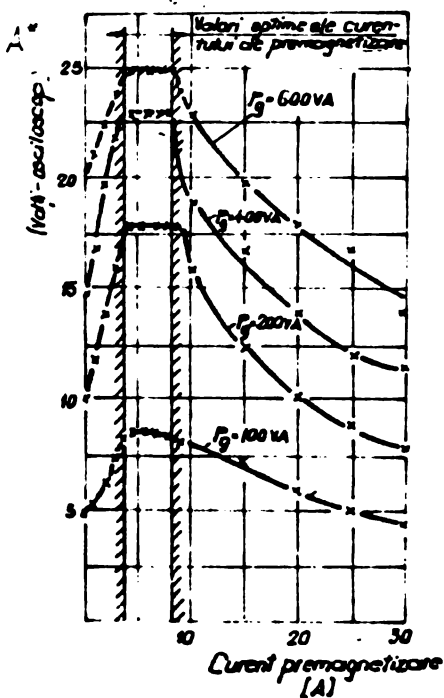


Fig. 7.28 - Variatiya ampli-
 tudinii cu mărimea curentului de premagnetizare.

Se due la creșterea de amplitudinii și disparețivă la creșterea
 parte micșorarea amplitudinii oscilațiilor se pune pe st
 torsionilor în funcționare a vibrațiilor parazite de frecvențe

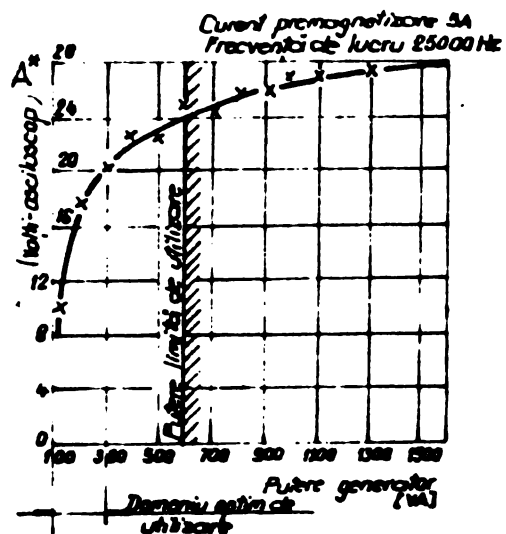


Fig. 7.29.- Variatiya amplitudinii
 cu puterea de ieșire a generato-
 rului.

...ce ce doar datorită depășirii domeniului de saturație, și în cazul a unei funcționări proaste în ansamblu cu disipare de energie. Acest lucru este redat mai clar în figura 7.29. unde se remarcă o creștere pronunțată a amplitudinii pentru creșterea de putere la început ca apoi peste o anumită limită creșterea de amplitudine să fie mult mai lentă. Peste limita marcată în diagramă se constată o înrăutățire considerabilă a regimului de funcționare și anume apariția pronunțată a frecvențelor joase, încălziri puternice, vibrații transversale.

Acest lucru a fost remarcat și pe distorsiunile puse în evidență chiar pe semnalul sinusoidal de pe ecranul oxiloscopului (figura 7.30.).

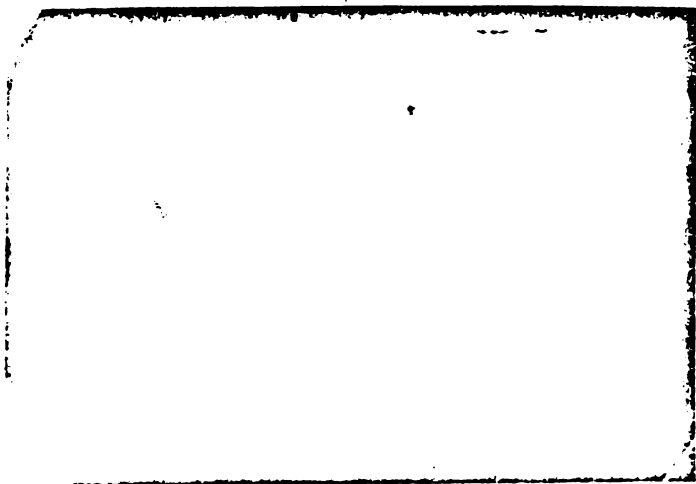


Fig. 30.- Distorsiuni la semnal sinusoidal la regimuri joase de excitație.

Se remarcă astfel că pragul optim de utilizare corespunde la un curent de premagnetizare de circa 5 A și la o putere maximă de circa 600 VA la ieșirea generatorului. O simplă verificare admitând $k_{cf} = 0,3$ ne conduce tocmai la valorile limită superioară uzual admise pentru

densitatea de energie radiantă în cazul Ni.

Transductorul folosit a avut dimensiuni și masă apropiate de cele ale unei scule folosite în prelucrare astfel că se poate considera că la frecvența de 25 kHz rezultatele nu au fost influențate.

În general pentru blocul ultrasonic construit în prima etapă (pentru încercări preliminare) s-a constatat o funcționare relativ defectuoasă la un regim de eficiență scăzut, care însă putea fi substanțial ameliorat printr-o tehnologie adecvată.

În continuare s-a constatat că dimensionarea inițială este informativă, concentratorul în special impunându-i-se ajustări ulterioare de lungime. Valorile reduse ale amplitudinii oscilațiilor la capătul concentratorului în comparație cu încercările ulterioare efectuate pe aceleași tipuri de blocuri ultrasonice se explică în mare măsură și prin calitatea proastă a cuplajului concentrator - transductor constatată la demontare, când doar jumătate din suprafața de radiație era corespunzător lipită în rest prezentând goluri. Cuplajul corect efectuat de altfel presupune o

lipire îngrijită cu argint sau chiar brazarea.

7.6. Determinări comparative privind eficiența blocurilor ultrasonice pentru diferite tipuri constructive.

Considerând în continuare metoda de apreciere a eficienței blocurilor ultrasonice prezentată ca fiind suficient de concludentă deși ea nu precizează valori absolute pentru amplitudini, s-a luat în considerare încercarea comparativă a mai multor transductori metalici de Ni la care tehnologia de confecționare diferă urmărindu-se în ce măsură aceasta poate sau nu să influențeze caracteristicile de funcționare ale blocului ultrasonic. Acest lucru s-a impus cu atât mai mult cu cât datele privind calculul și proiectarea respectiv tehnologia de execuție sînt insuficient conturate în literatura de specialitate (69), (50), (15), (23), (79), (80). În mare măsură rezultatele unor asemenea încercări comparative pot orienta sensul ajustărilor ce se impun blocurilor ultrasonice după proiectare și realizare.

Astfel pe baza relațiilor de dimensionare (69), (50), (23), (111) s-au construit un număr de 4 blocuri ultrasonice pentru care s-au impus condiții tehnologice diferite. Pe același montaj de măsurare prezentat în figura 7.26. s-au urmărit dependențele Amplitudinea = f (I premagnetizare) și Amplitudine = f (P generator). Cum încercările nu au vizat și regiunile de funcționare defectuoasă caracteristica de răspuns a traductorului permite compararea corectă a rezultatelor.

Pentru blocurile ultrasonice studiate s-a folosit o schemă de montaj ce presupune un manșon de cauciuc în nodul de oscilație al concentratorului și o pernă reflectoare de cauciuc în capătul opus al transductorului (fig.7.1.g). Concentratorii atașați la o suprafață de radiație a transductorului de 4,8x4,8 cm au fost de formă conică cu un coeficient de reducere a suprafeței de $H = 7$. Concentratorii conici au avantajul de a asigura performanțe foarte apropiate de cei cu profil exponențial, sînt mai ușor de realizat și nu sînt atât de susceptibili la vibrațiile transversale ca și cei cilindrici în trepte la coeficienți mari de reducere a suprafețelor.

Rezultatele încercărilor efectuate sînt redată în figura 7.3/ sub forma curbelor Amplitudine = f (I premagnetizare) și

în figura 7.32. sub forma curbelor Amplitudine - $f(P \text{ generator})$.

Datele din figura 7.31.a și figura 7.32.a corespund pentru un bloc ultrasonic cu transductor asamblat mecanic prin strângere cu coliere de alamă la cele două capete și lipit cu aliaj Pb-Sn de concentratorul conic din oțel OLC 45. Toarele transductorului, din tablă de Ni de 0,1 mm au fost ștanțate pe direcția liniilor de laminare și asamblate în urma unei recocerii la 850°C care le asigură o peliculă de oxid izolatoare.

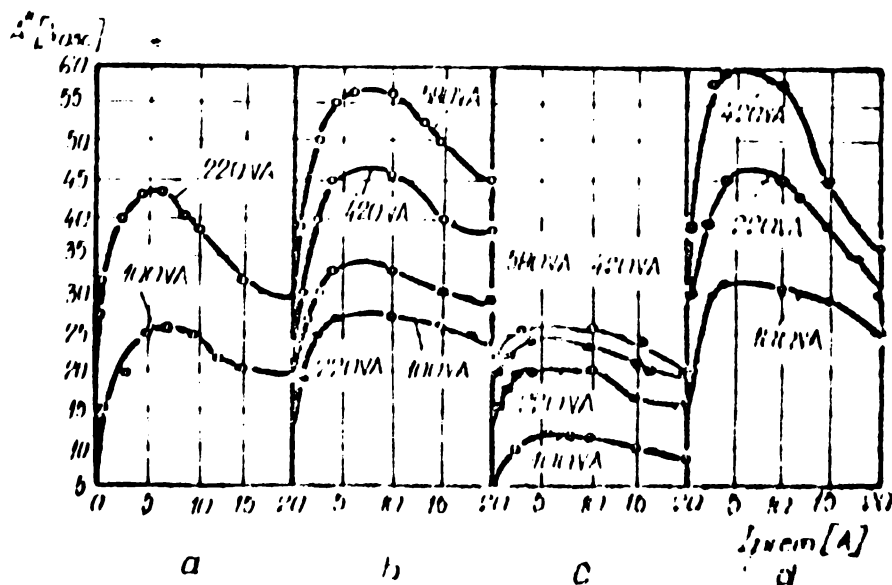


Fig.7.31.- Dependenta amplitudinii cu valoarea curentului de premagnetizare pentru diferite tipuri constructive de B.U.

Analizând diagramele $A = f(I_{\text{prem}})$ se constată că valoarea optimă a curentului de premagnetizare este cuprinsă între 4 și 10 A, iar din diagrama $A = f(P_{\text{gen}})$ trasată pentru o premagnetizare optimă de 4A rezultă o creștere pronunțată a amplitudinii la creșteri mici ale puterii la început, ca apoi creșterea amplitudinii să fie mult mai lentă. Totodată s-a observat pentru blocul ultrasonic urmărit o înrăutățire considerabilă a regimului de funcționare la depășirea unei anumite puteri de logire (putere limită de utilizare). Înrăutățirea funcționării este pusă în evidență prin distorsiuni pe vibrogramă, vibrații transversale parazite, încălziri puternice. De remarcă că vibrațiile de frecvență joasă (subarmonici) puse în evidență prin țuțituri sînt și foarte supărătoare pentru operator. De altfel se pare că în diagrama $A = f(I_{\text{prem}})$ curba corespunzătoare puterii

$P_g = 1000 \text{ VA}$ este puțin și astfel trebuie să se construiască un generator cu o putere nominală puțin mai mare decât cea necesară pentru a asigura o rezerva de putere necesară.

În Figura 7.32 a) și 7.32 b) sunt reduse caracteristicile de funcționare a P.T. pentru și respectiv A - P (17500) pentru construcțiile diferite pe un fel de

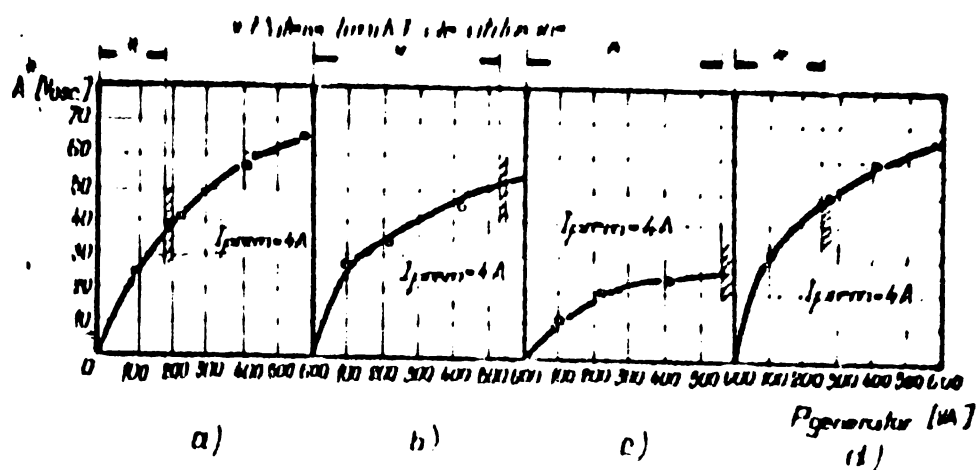


Fig.7.32. Dependența amplitudinii cu puterea generatorului pentru diferite tipuri constructive de B.U.

ultrasonice asamblat prin lipirea tolelor de Ni cu rășini epoxidice speciale rezistente la vibrații (araldit AW 106 cu întăritor IV953U-firma CIBA-Elveția-). Așa cum se remarcă în general adezivii reduc coeficientul de calitate al transductorului magnetostriktiv remarcat și prin valoarea mai scăzută a amplitudinii la aceeași putere de ieșire, dar permit funcționarea transductorului la puteri mult mai mari fără apariția vibrațiilor parazite și fără încălziri pronunțate. Analizând diagrama $A = f(P_{gen})$ din figura 7.32.b se remarcă o variație asemănătoare a amplitudinii oscilațiilor ca și în cazul anterior, cu observația că singurul fenomen care indică o funcționare în regim mai intens de excitație este apariția distorsiunilor pe vibrogramă, dar la valori mult mai mari ale puterii generatorului și fără să fie însoțite de țiuțuri și încălziri pronunțate.

Rezultă că deși factorul de calitate scade, afectând amplitudinea oscilațiilor, totuși pentru acest tip de transductor se pot obține amplitudini mai mari ale oscilațiilor printr-un regim mai intens de excitație fără a se remarcă fenomene nedorite. Acest tip de transductor este de așteptat să dea rezultate bune la instalațiile cu puteri mari de ieșire.

În figurile 7.31 c și 7.32 c sînt redată diagramele $A = f(T_{\text{prem}})$ și $A = f(P_{\text{gen}})$ în cazul unui bloc ultrasonic cu transductorul de asemenea asamblat prin lipire, dar la care, în mod intenționat s-a realizat stanșarea tolelor de Ni perpendicular pe direcția de laminare fără a fi recoapte, iar volumul ferestrei este mult mărit în comparație cu cel al coloanelor astfel că raportul suprafețelor lor este $\frac{S_c}{S_f} < 1$ (raportul optim indicat $\frac{S_c}{S_f} = 1$). Așa cum era de așteptat în acest caz apare o scădere pronunțată a amplitudinii oscilațiilor datorită anizotropiei efectului de magnetostricțiune și datorită în special nerespectării unor condiții tehnologice ($\frac{S_c}{S_f}$), stanșare, recoacere) de bază la confecționare.

Un caz aparte este redat în diagramole din figurile 7.31 d și 7.32 d, deoarece reprezintă rezultatul aceluiași încercări ca și în cazurile anterior descrise, dar asupra unui bloc ultrasonic bilateral destinat unor mașini de prelucrat cu două posturi simultan. Acest bloc ultrasonic este format dintr-un vibrator magnetostrictiv cu tolele de Ni îmbinate la cele 2 capete cu câte un concentrator conic. Montajul în corpul de lucru este conform schemei din figura 7.1a (strîngerea tolelor în nodul de oscilație al transductorului) care asigură condiții foarte bune de lucru. Acest fapt este marcat și prin valoarea ridicată a amplitudinii oscilațiilor la cele 2 capete ale concentratorilor (deci randament energetic bun) și posibilitatea unui regim de excitație puternic fără apariția unor efecte nedorite. În diagrama din figura 7.32.d în acest caz puterea limită de utilizare mai poate fi mărită, deoarece pentru valoarea marcată s-au înregistrat doar distorsiuni pe vibrogramă fără să fie însoțite și de zăuțuri sau încălziri puternice.

Sugestiv în privința comportării blocurilor ultrasonice este și modul cum are loc încălzirea acestora. În figura 7.33 este redată diagrama încălzirii în timp a blocurilor ultrasonice din care rezultă condiții bune de funcționare pentru transductorii asamblați prin lipire cu rășini epoxidice și creșterea cantității de energie disipată la transductorii asamblați prin strîngere.

Se poate defini astfel, viteza de încălzire ca un indice util în compararea funcționării blocurilor ultrasonice:

$$V_{inc} = \frac{T}{\delta} = tg \alpha [^{\circ}C/min] \quad (7.8)$$

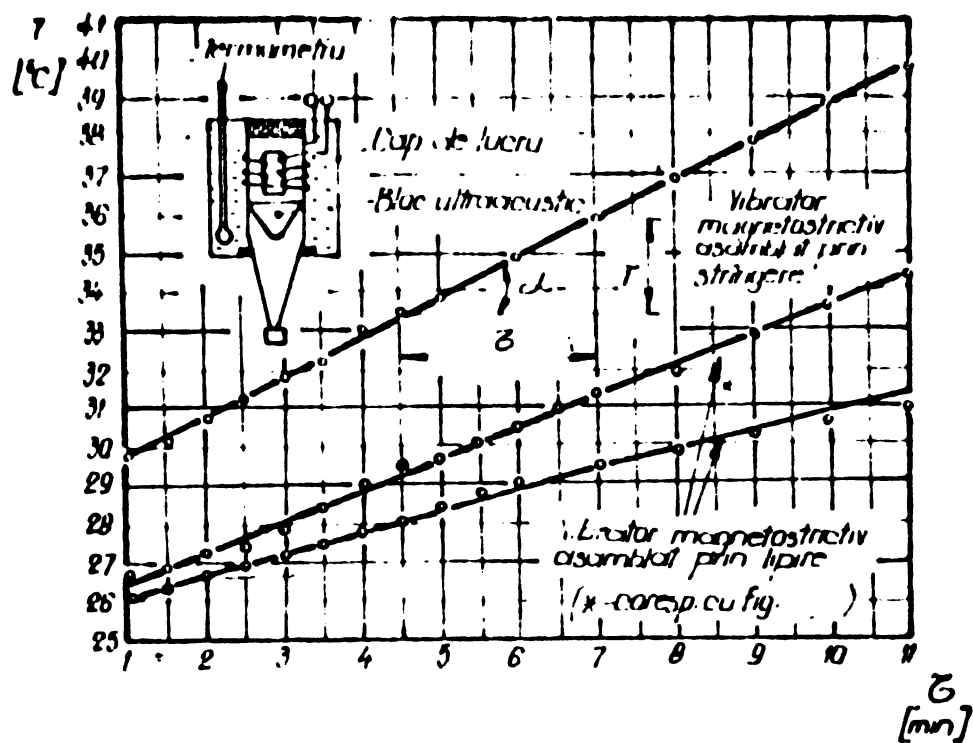


Fig.7.33. Diagrama încălzirii blocurilor ultrasonice.

Un caz aparte al determinărilor comparative privind eficiența blocurilor ultrasonice le-au constituit cele asupra blocurilor ultrasonice confecționate pe bază de ferite magnetostrictive, precum și încercările efectuate asupra unor blocuri ultrasonice cu transductorii metalici (Ni) ce se găsesse după o perioadă de exploatare pe mașina de prelucrat cu ultrasunete (model experimental) și pe un ștand de sudare cu ultrasunete a maselor plastice.

În ambele cazuri s-a utilizat aparatură de cea mai înaltă clasă (Brüel & Kjaer) cuplată cu transductorii accelerometrici capabili să funcționeze în domeniul frecvențelor ultrasonore joase. Aceste încercări s-au impus cu atât mai mult cu cât la ora actuală este asimilată în țară fabricarea transductorilor magnetostrictivi pe bază de ferite la I.C.E. București și care ar putea acoperi cu succes necesitățile privind mașinile de puteri mici și mijlocii, evitând folosirea materialelor magnetostrictive metalice deficitare și scumpe. Totuși pentru instalații ultrasonice de puteri mari trebuie avută în vedere în continuare folosirea transductorilor metalici, singurii capabili a funcționa eficient la încălziri specifice mari.

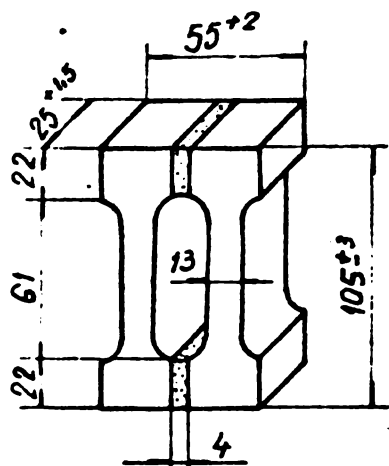
Feritele cele mai indicate pentru transductoarele magnetostrictive sînt feritele de nichel-cobalt sau nichel-cupru-cobalt, care au performanțe optime din acest punct de vedere. În multe aplicații însă trebuie ținut seama de variațiile parametrilor principali ai feritelor cu temperatura (ceea ce impune răcirile lor), acești parametri fiind coeficientul de cuplaj electromecanic k_{ef} , factorul de calitate mecanic Q_m , factorul de calitate magnetic Q_v , randamentul electroacustic η .

În tabelele 7.6 și 7.7. se dau caracteristicile de bază ale rezonatorilor din ferite magnetostrictive tip ICE-România

Tabelul 7.6.

CARACTERISTICI TEHNICE :

(rezonator din ferită magnetostrictivă
tip ICE - România)

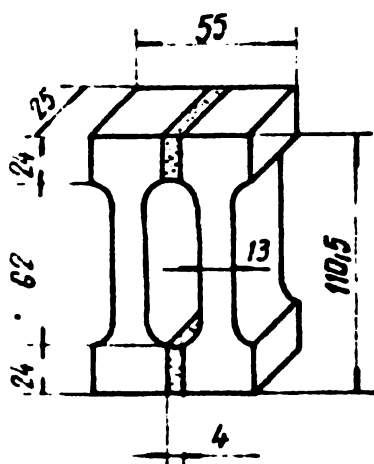


| | |
|---|-----------------------|
| Frecvența de rezonanță (kHz) | 19,5 ^{±0,4} |
| Factorul de cuplaj electromecanic k (%) | ≥ 13 |
| Factorul mecanic de pierderi Q_m | ≥ 150 |
| Factorul de conversie electroacustică η (%) | ≥ 70 |
| Tipul de material | H2 |
| Factorul de variație a frecvenței cu temp. -20+40°C; $TK \cdot 10^{-5}$ | -5 · 10 ⁻⁵ |

Tabelul 7.7.

CARACTERISTICI TEHNICE :

(rezonator din ferită magnetostrictivă
tip TDK Electronics Co, LTD - Japonia)



| | | |
|--|-----------------------------|----------------------|
| Viteza sunetului | v (km/sec) | 5,6 |
| Rezistivitate | ρ_{dc} (Ω/cm) | $1 \times 10^3 \leq$ |
| Densitate | d (g/cm^3) | 5,15 |
| Temperatura Curie | T_c (°C) | 450 |
| Factor mecanic Q | Q_m | 150 |
| Coeficient de cuplaj electromecanic k (%) | | 13 |
| Factor de conversie electroacustică η_e (%) | | 70 |
| Încărcare electrică continuă | W/cm^2 | 4 |
| Încărcare electrică maximă | W/cm^2 | 6 |

... tip TDK Electronics Co, LTD - Japonia care au fost subiectul cercărilor noastre.

De mare importanță pentru aplicarea practică a transducătorilor de ferită este problema limitei de tensiuni mecanice care le pot suporta. Fiind un material ceramic la depășirea

elastice de elasticitate feritale se sparg. Acest lucru se constată în cazul unei încălziri acustice (depășirea încălzirii critice) excesive sau mai mari decât cea limită.

Având transductorul de ferită, la generatorul de ultrasunete în regimii s-a constatat un efect magnetostrictiv deosebit de intens, materializat prin pulverizarea intensă a unei pelicule de apă uscată pe fața de radiație a transductorului și prin apariția marii amplitudini vibrației ultrasonice (figura 7.34). Evident acest efect magnetostrictiv intens ca urmare a supraîncălzirii feritelor pune în evidență calitatea materialului folosit, dar pe de altă parte impune determinarea precisă a limitei maxime de încălzire având în vedere necesitatea funcționării în regim de durată a acestor ferite în instalațiile tehnologice.

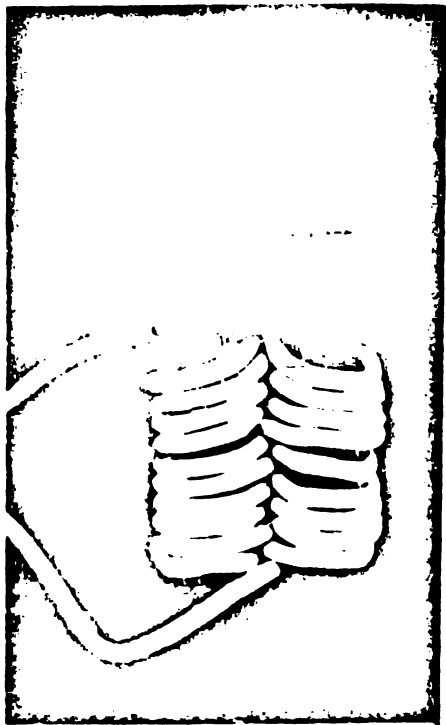


Fig. 7.34.- Efectul magnetostrictiv intens al unei ferite supraîncălzite.

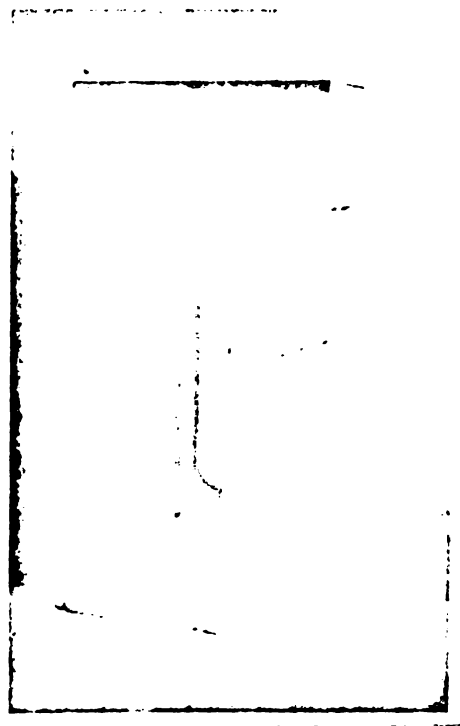


Fig. 7.35.- Localizarea fisurilor pe un rezonator de ferită supraîncălzit.

Figura 7.35. este redat un rezonator din ferită care ca urmare a regimului de supraîncălzire (~ 600 VA) a fisurat după circa 5 secunde.

Printru a pune în evidență fisurile s-a folosit o metodă de control pe bază de coloranți penetranți produși de firma Magnaflux Limited USA („Spotcheck”) ca urmare a unui tratament cu o soluție de oxidare $SrO-NiO$, dezvoltat de SVE-VE și penetrant $CV-1$. S-a putut localiza fisurile ce apar în zona nodului de oscilație

(ventree ale tensiunii mecanice) și în zona racordărilor de colț, unde sunt cele mai solicitate. Din păcate metodele de mărire a rezistenței la solicitări (tracțiune) prin pretensionare nu pot fi aplicate deoarece așa cum s-a dovedit (103) ele duc la scăderea substanțială a factorului electromecanic al feritelor (figura 7.36).

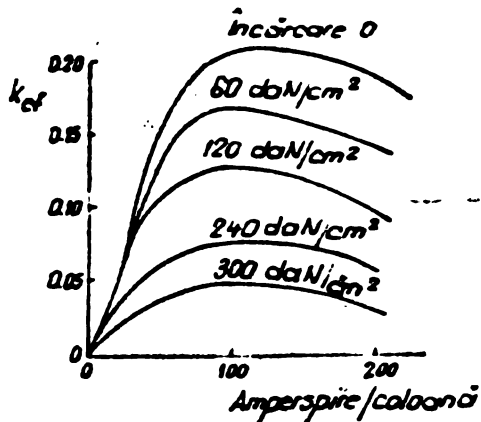


Fig.7.36.- Efectul pretensionării feritelor magnetostrictive (103).

Pe de altă parte pretensionarea ar impune și modificări constructive în concepția blocurilor ultrasonice destul de dificil de realizat. Pentru aprecierea posibilităților de utilizare a feritelor magnetostrictive românești în construcția blocurilor ultrasonice s-a urmărit determinarea experimentală a unor caracteristici funcționale și calitative în diferite condiții de exploatare.

Pentru aceasta principalul parametru de apreciere a eficienței s-a considerat amplitudinea oscilației (respectiv viteza și accelerația) pe fața de radiație a magnetostrictorilor înregistrată pe lanțuri de măsurare utilizând cu precădere aparatură Brüel & Kjaer. Având în vedere dificultatea încercării feritelor pe generatoare de putere cu tuburi s-a utilizat pentru încercări experimentale un amplificator de putere B & K 2707 deși astfel apar dificultăți în realizarea unei adaptări corecte a impedanțelor.

În figura 7.37 se prezintă schema montajului utilizat pentru o serie de încercări preliminare asupra rezonatorilor de ferită, iar în figura 7.38 vederea de ansamblu a montajului.

Elementul esențial l-a constituit traductorul accelerometric de înaltă frecvență B & K 8307 a cărui principale caracteristici sînt următoarele:

- frecvența de rezonanță 75 KHz.
- domeniul de utilizare 1-25 KHz.
- sensibilitate la tensiune 2,2 mV/g
- sensibilitate la încărcare 0,7 pC/g
- înălțime 6,5 mm
- greutate 0,4 g



Pentru etalonare s-a utilizat un calibrator B & K 4292 cu un amplificator de măsură B & K 2606.

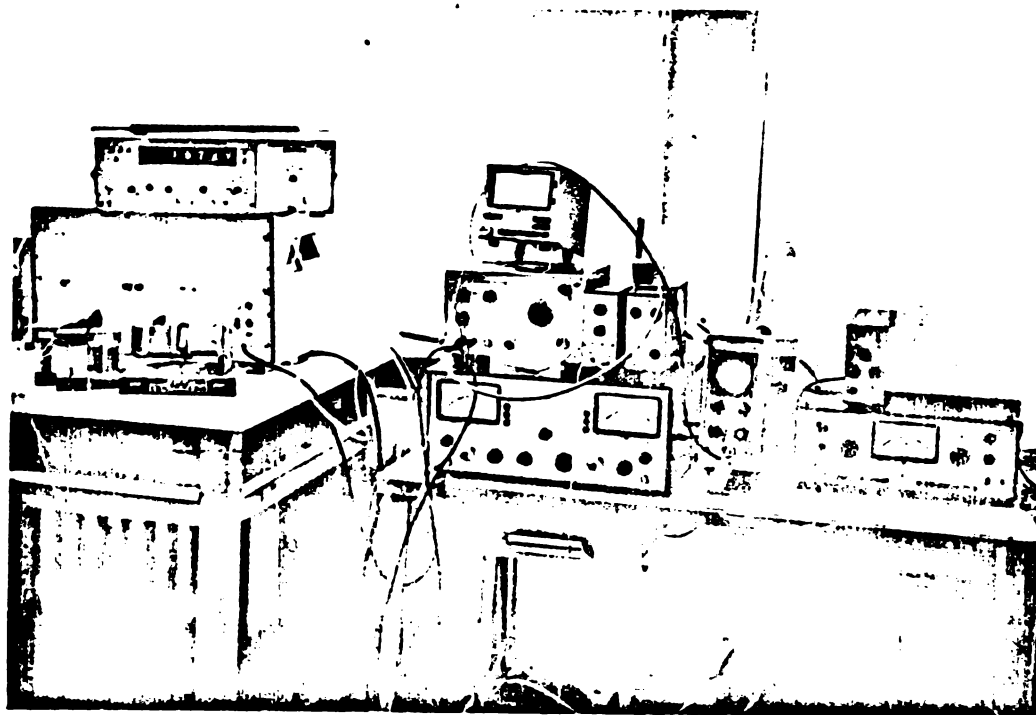


Fig. 7.38. Vederea de ansamblu a montajului pentru încercări preliminare asupra magnetostrictorilor din ferită.

Încercările preliminare au pus în evidență o serie de caracteristici calitative esențiale ale feritelor (în special efectul magnetostrictiv remarcabil comparabil cu al feritelor magnetostrictive japoneze TDK), dar au semnalat și o serie de limitări în montajul de măsurare precum și necesitatea unor încercări complementare.

Deosebit de importantă în aprecierea corectă a rezultatelor măsurătorilor s-a dovedit a fi prinderea traductorului accelerometric în reșini speciale (Hoffinger) evitându-se desprinderile și deci apariția limitărilor.

S-a putut pune în evidență pentru majoritatea rezonatorilor o curbă de rezonanță foarte „ascuțită” chiar în condițiile radiației sonore în aer. Acest lucru a determinat un prim dezavantaj legat de corectitudinea determinării mărimii absolute a amplitudinii (pentru care autorul exprimă rezerve pînă la efectuarea unor încercări mai exacte și complete) deoarece montajul de măsurare

presupune în această situație un generator de frecvență pilotat.

Un alt dezavantaj al curbei „ascuțite” de rezonanță corelat cu neomogenitate frecventă a diferiți rezonatori constă în dificultatea realizării mozaicurilor de 2 sau 3 ferite la blocuri ultrasonice pentru instalații tehnologice.

Determinarea încărcării electrice maxime necesare pe secțiuni de fabricație și verificarea funcționării de durată presupune utilizarea în lanțul de măsurare a unui analizor heterodină B & K 2010 și verificarea influenței înfășurărilor de excitație asupra corectitudinii măsurărilor în condițiile apariției subarmonicilor.

De asemenea se impune studierea influenței formei, masei și modului de prindere a concentratorilor care în general provoacă scăderea frecvenței de rezonanță.

Toate aceste determinări în curs de desfășurare la ora redactării tezei depășesc de fapt cadrul restrâns al prezentei lucrări de doctorat.

7.7. Cercetări privind soluții constructive îmbunătățite

Pe baza rezultatelor încercărilor redată în paragrafele anterioare, pe baza studiilor și a situației de perspectivă autorul împreună cu colectivul antrenat în cercetarea tehnologiilor cu ultrasunete propune câteva soluții pentru construirea blocurilor ultrasonice de mare eficiență.

Având în vedere comportarea bună a feritelor produse de I.C.E. București, dar și limitele utilizării lor legat de încărcarea specifică redusă (sarcina acustică) pe care o permit ($4-6\text{W/cm}^2$) și ca atare de posibilitatea utilizării lor eficiente în instalațiile tehnologice cu ultrasunete de puteri mici și mijlocii soluțiile propuse au în vedere construcții pe bază de transductori metalici utilizabili la instalații de puteri mari.

Astfel s-au proiectat și sînt în curs de experimentare și îmbunătățire trei tipuri de vibratoare magnetostrictive pentru care s-au acordat brevete de invenție și anume:

-vibrator magnetostrictiv pentru instalații tehnologice cu ultrasunete. Dosar OSIL nr. 72574/19.10.72 (hotărîre de brevetare din 01.02.1975).

-vibrator magnetostrictiv. Dosar OSIL nr. 74911/26.03.73 (hotărîre de brevetare din 07.01.1975).

-vibrator magnetostrictiv cu concentrator pentru

instalații tehnologice cu ultrasunete. Dosar OSIM nr. 74907/26.03.73

De remarcat că toate cele trei tipuri de vibratoare magnetostrictive prezintă un domeniu de aplicare mult mai larg cuprinzând mașinile de prelucrat dimensional, mașinile de sudat cu ultrasunete, diferite dispozitive de activare cu ultrasunete a proceselor mecanice (deformare plastică, așchiere, etc.).

În principal cele trei tipuri de vibratoare magnetostrictive pot întruni următoarele avantaje tehnico-economice:

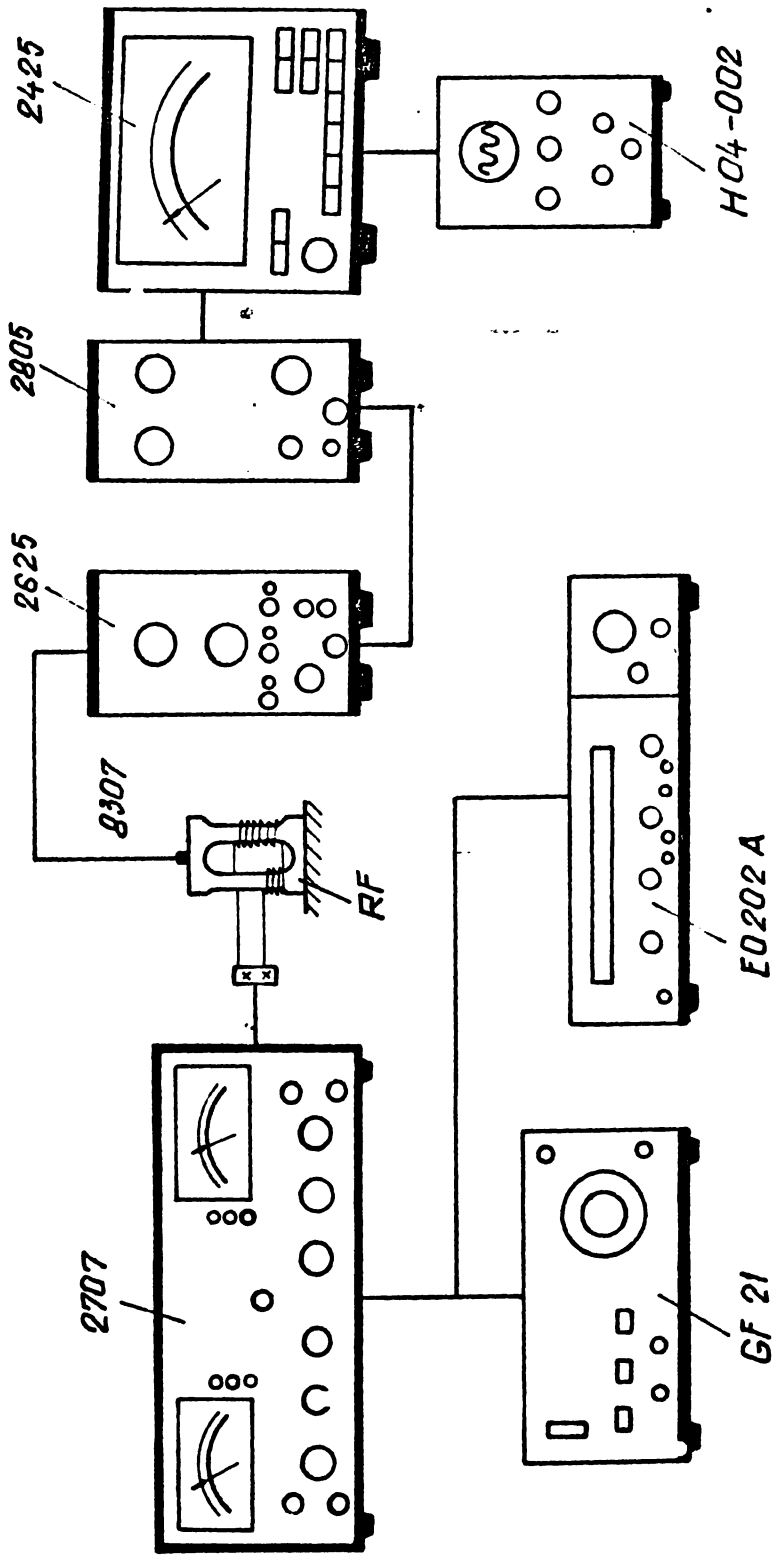
- asigură un consum redus de materiale magnetostrictive scumpe și deficitare.

- înlătură necesitatea construirii unei stații speciale pentru decuparea tolelor de material magnetostrictiv.

- asigură condiții bune de răcire a transductorului în timpul lucrului îmbunătățind factorul de calitate și durabilitatea.

- permite atașarea concentratorilor cu un orificiu tehnologic central.

În figura 7.39 este redat desenul vibratorului magnetostrictiv cu concentrator pentru instalațiile tehnologice cu ultrasunete.



RF - rezonator magnetostrictiv din ferită
 8307 - traductor accelometric B & K
 GF 21 - generator de frecvență
 2707 - amplificator de putere B & K
 E0202A - numărător universal
 2625 - preamplificator pentru accelometre B & K
 2805 - alimetru de putere B & K
 2425 - voltmetru electronic
 H04-002 - osciloscop ARION

Fig. 7.37 - Schema montajului pentru încercări
 preliminare asupra rezonatorilor
 din ferită

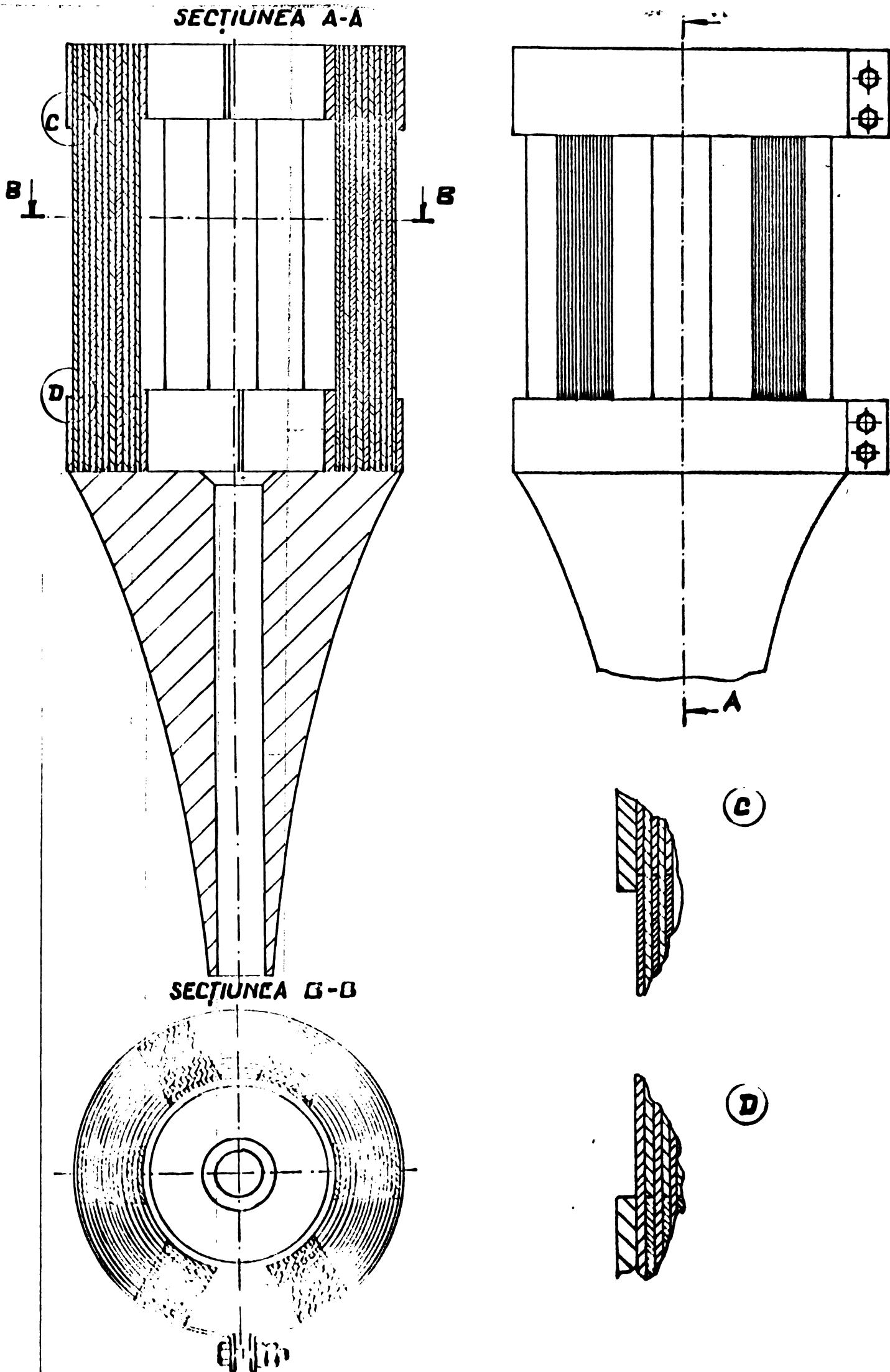


Fig. 7.39- Vibrator magnetostrictiv cu concentrator

8. CERCETAREA SISTEMULUI DE AVANS (SA)

8.1. Condițiile funcționale de bază ale sistemelor de avans folosite la mașinile de prelucrat cu ultrasunete, tipuri constructive de bază, tendințe în construcție.

Sistemul de avans la mașina de prelucrat cu ultrasunete cuprinde subansamblul constructiv cel mai complex din punct de vedere cinematic având rolul de a asigura la locul prelucrării în primul rând parametrul tehnologic presiune statică în limitele admise unei prelucrări eficiente și în al doilea rând (aspect mai puțin sesizat) este în legătură chiar și cu menținerea condițiilor de existență și circulație a suspensiei abrazive la locul prelucrării. Pentru o prelucrare eficientă se impun condiții restrictive rezumate prin următoarele;

- necesitatea realizării unei viteze de avans foarte mici (mm/min) ceea ce din punct de vedere cinematic poate constitui o dificultate majoră.

- sensibilitate și viteză de reacție controlabilă sau reglabilă de către operator.

- în condițiile păstrării în limitele reglate ale parametrului presiune de contact sistemul de avans ar trebui să sesizeze măcar în parte dacă nu integral și să reacționeze la eventuale modificări ale condițiilor prelucrării (scăderea capacității productive, trecerea sculei de la lucru percutant la unul nepercutant, deplasarea frecvenței de rezonanță, înrăutățirea condițiilor de circulație a suspensiei abrazive și respectiv a produselor de eroziune). În mare parte un sistem simplist de avans de construcție clasică nu răspunde acestei condiții, rezolvarea integrală a acesteia aparținând comenzii adaptive.

- sistemul de avans trebuie să aibă o elasticitate mare în cazul mașinilor cu plajă largă de utilizare și prelucrare la dimensiuni și materiale diferite, în condiții de capacitate productivă aproximativ constantă.

În acest sens se nemulțumesc vitezele diferite de prelucrare pe care ar trebui să le aibă sistemele de avans în condiții extreme de prelucrare. În cazul sticlei s-au raportat capacități productive

pînă la $1200 \text{ mm}^3/\text{min}$ la sisteme cu aspirație a suspensiilor abrazive, iar în cazul carburilor metalice $30-40 \text{ mm}^3/\text{min}$ ceea ce presupune ca la aceeași dimensiune de prelucrare raportul vitezelor să fie de cîteva zeci la unu (40/1). Un sistem de avans de asemenea elasticitate presupune o cinematică complicată. Pe baza considerentelor amintite s-au construit majoritatea sistemelor de avans a mașinilor ultrasonice cu pretenții, în numeroase cazuri însă au apărut pe piață chiar și mașini ultrasonice cu sisteme de avans simpliste (de exemplu pe bază de contragreutăți, acționate manual, etc) soluții considerate nesatisfăcătoare.

Mai ales mașinile de prelucrat cu ultrasunete cu acționare manuală a avansului și controlul forței de avans de către operator sînt total neindicat avînd în vedere specificul lucrului la prelucrări de serie.

În linii mari sistemele de avans pot fi cu acționare mecanică cu contragreutăți sau plan înclinat, cu acționare electromecanică de tip continuu sau intermitent și rareori pe bază de motor cu acțiune în regim de frînă, alteori pe bază de sisteme elastice și mai rar din cauza dezavantajelor cu acționare hidraulică sau pneumatică.

În numeroase cazuri aceste sisteme de avans afectează blocul ultrasonic în unele situații dovedindu-se avantajose, însă în majoritatea lor ducînd la complicații constructive a acestora. În cazul cînd se au în vedere mașini universale ceea ce se impune prin faptul că domeniul prelucrabilității cu ultrasunete este destul de restrîns, soluția optimă se pare a fi dovedită cea în care acționarea sistemului de avans vizează masa mașinii. Într-o astfel de soluție pe bază de contragreutăți, plan înclinat sau chiar acționare electromecanică simplă nu prezintă particularități deosebite se vor analiza doar sistemele de avans cele mai reprezentative instalate pe mașinile unelte cele mai perfecționate (mașini sovietice, mașini britanice) și care de fapt sînt în majoritate protejate prin patent.

Astfel mașina ultrasonică sovietică de tip 2UP3 posedă un mecanism de avans pe bază de contragreutăți combinat cu o acționare electromecanică. Mecanismul de avans redat schematic în figura 8.1. acționează asupra capului mașinii (BU) prin intermediul unei contragreutăți principale 1, a pîrghii 2 și a articulațiilor cu cuțite. Capul de lucru se deplasează pe gîlciere cu bile.

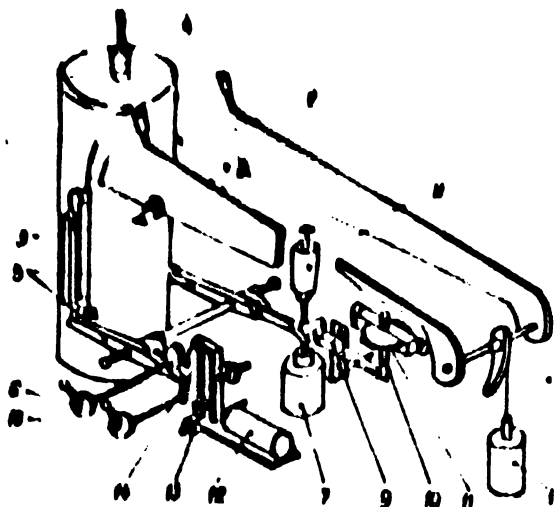


Fig. 8.1. - Mecanismul de avans al măgării ultrasonice tip 2003 (50).

se poate ajusta de la 1 la 160 secunde. Mărimea cursului de retragere se poate regla între 0 și 25 mm cu ajutorul unui mecanism format din elementele 9, 10 și 11.

Sistemul poate fi cuplat de la mână cu excentric 15 și fie acționat pe verticală de un motor electric de curent continuu de 15 w, 12, care acționează asupra pârghiilor 5 ale mecanismului prin intermediul unui mecanism șurub piuliță 13, 14. Viteza de avans a capului este reglabilă prin ajustarea curentului de excitație.

O altă variantă de sistem de avans electromecanic instalat pe o mașină ultrasonică mai perfecționată și dinamic tipul sovietic 4772 este prezentată în figura 8.2. Acest tip de mecanism de avans (patent USA nr. 3094814) produs de EMISS (URSS) acționează asupra capului măgării (BU) care este fixat la capătul unei carcase funcționale străbătută de un arbore principal. Arborele principal împreună cu carcasa sunt menținuți în poziție de lucru de un sistem de echilibrare cu pârghie 8 și contragreutăți 10. Pârghia 8 este în legătură cu un amortizor hidraulic 9, iar contragreutățile 10 în legătură cu miezul 11 al unui electromagnet 12 alimentat de la un autotransformator și un redresor. Forța de avans este astfel controlată prin ajustarea curenzătoare a curentului ce trece prin bobina 12. Sistemul mai este înzestrat și cu un amortizor mecanic 4 pentru reducerea forței de avans și cu posibilitatea cuplării unui

Forța de avans este ajustată prin intermediul pârghiilor echilibrabile 4. Alături de capul de lucru domeniul de utilizare produce un ponton control cu ponton face rapid cu un sistem de excentric acționat manual 6 și a unor pârghii 5.

Mecanismul are posibilitatea realizării unor retrageri periodice în scopul înălțării producător de acțiune și pentru reciprocitatea cu suspensia de control acționat de un magnet magnet 7 cu amortizor 8 și comandat de un releu de timp ce

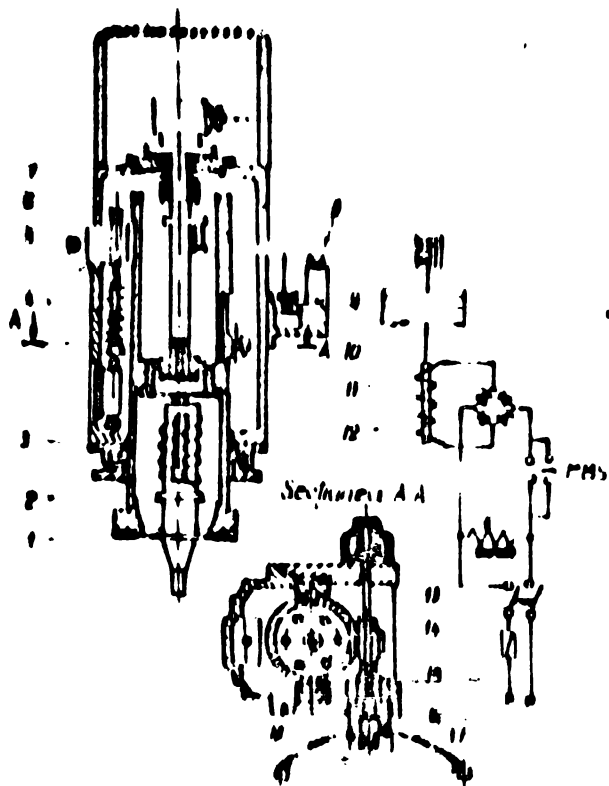


Fig. 8.2. - Mecanismul de avans al mașinii ultrasonice tip 4772 (50).

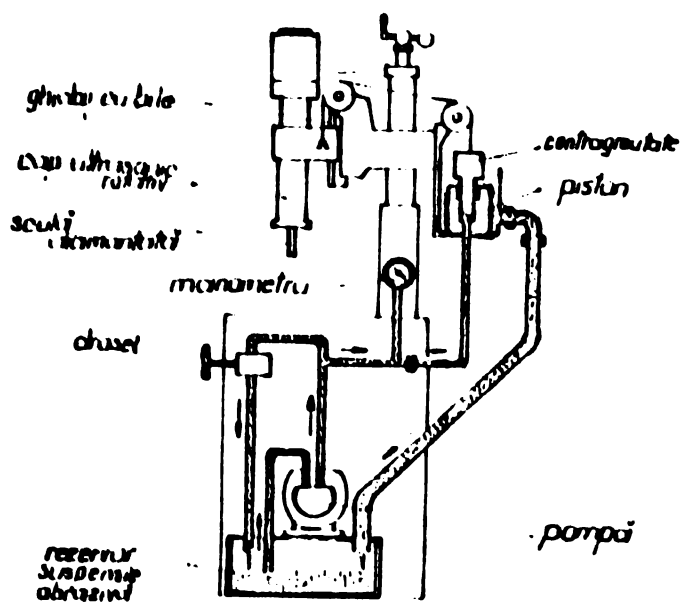


Fig. 8.3. - Mecanismul de avans al mașinii ultrasonice UKAZA-Harwel, model 1138A „Dave Instruments” (50).

mai cunosc numeroase variante constructive, însă cele anterior redată sînt cele mai reprezentative pentru studiul actual cunos-

cut. Acest sistem de avans este controlat periodic. De asemenea este prevăzută indicația a forței de avans (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

Acest sistem de avans este controlat o mașină cu putere de ieșire de 1,5 kw la generator.

Un alt sistem de avans (patent USA nr. 3482360) instalat pe mașina britanică model 1138 A, a firmei „Dave Instruments Ltd” produsă sub licență UKAZA Harwel asigură tot asupra capului mașinii (10) controlul de o contrabalanșă cu plunjer ce se cufundă într-un bazin de ulei.

Partea inferioară a plunjerului este în legătură cu conducta unui

circuit hidraulic ce cuprinde o pompă și un droșel pentru reglare.

Uleiul deversat se recuperează printr-o conductă cu filtră.

Acest sistem de contrabalanșare prin flotare și reglare a forței de avans de la droșel asigură presiunea constantă necesară prelucrării.

Reglarea presiunii se poate face într-un interval larg.

În construcția de mașini ultrasonice se

Din cele redatate se observă că se urmăresc mecanisme de avans continuu cu mare sensibilitate și posibilități de reglare. Aceste tipuri de mecanisme brevetate nu au în vedere însă o mișcare de avans intermitentă. Caracteristica principală a unui sistem de avans așa cum rezultă însă și din datele altor autori se pare a fi sensibilitatea mecanismului exprimată în „limita forței de avans”. Din cifre se vede (50) la mașinile mici sensibilitatea e în jur de 20 g, iar la cele mari ajunge la 250 g dictat și de valoarea mare a forței de avans. La proiectarea și încercarea sistemului de avans prezentat în cele ce urmează s-au avut în vedere mai multe aspecte:

- proiectarea sistemului de avans pentru un model experimental în așa fel încât să se poată trece cu ușurință la valori diferite ale sensibilității prin montaje simple, respectiv să răspundă atât prelucrărilor de finete cât și celor groșiere

- s-a avut în vedere proiectarea pe baza parametrilor principali pe care-i asigură SA și cu care se găsește în concordanță urmărind schema intimă a prelucrării așa, cum este ea acceptată în prezent

- s-a avut în vedere tendința ce se poate contura la o mașină specializată de prelucrat cu ultrasunete privind dezvoltarea în direcția sistemelor cu comandă adaptivă.

- s-a avut în vedere neonterea de sub patent.

Pe lângă sistemul de avans proiectat, construit și încercat pe modelul experimental s-au proiectat și alte variante cu autoreglare ce urmează a fi încercate. Pentru acestea s-a obținut protejarea prin brevet.

8.2. Verificarea experimentală a parametrului tehnologic de bază (p) și corelarea acestuia cu condițiile cinematice pentru sistemul de avans.

Parametrul tehnologic principal ce caracterizează sistemul de avans din punct de vedere al eficienței este presiunea statică piesă-sculă. Numeroase cercetări au definit un domeniu optim între 0,5-4 daN/cm² cu depășiri pînă la 16 daN/cm² în cazul prelucrărilor de dimensiuni mici sub ϕ 2.

Parametrul presiune statică este astfel precizat uneori cu destulă incertitudine și el influențează semnificativ eficiența și uneori chiar și calitatea prelucrării (mai ales la orificii pătrunde)

Presiunea statică este importantă nu numai din punct de vedere a mărimii șocului transmis de granula abrazivă la suprafața de prelucrat dar și din punct de vedere al menținerii granulei în suspensie sub sculă, a reîmprospătării cu suspensie și eliminarea produselor de eroziune precum și a păstrării concentrației optime pentru prelucrare. Efectul presiunii statice asupra eficienței prelucrării este foarte complicat și încă necesită studii și cercetări particulare mai ales în prelucrarea orificiilor adânci (82). Se pare că eficiența prelucrării depinde aproape proporțional de valoarea presiunii statice până la o valoare optimă stabilită experimental, după care creșterea presiunii de contact are urma o tendință de scădere mai mult sau mai puțin accentuată (50), (61), iar după alți autori, o tendință de a se păstra constantă (57). Din păcate nu avem precizări prea clare în ce măsură judecarea acestui parametru s-a făcut sau nu în aceleași condiții ale parametrului k adică $A = \text{const.}$ și $f = \text{const.}$ Pe măsura creșterii presiunii de contact în mod automat trebuie să admitem o reducere a valorii amplitudinii prin micșorarea traseului parcurs de scula în vibrație, evident cu consecințe în creșterea forței de impact și a energiei ce se transmite granulei abrazive, apoi o creștere a frecvenței de rezonanță în sensul deplasării ei, creștere ce poate fi compensată la sistemul cu autoacordare și în mod normal e de așteptat o modificare a parametrului k în sensul scăderii efectului lui deoarece la creșterea presiunii, evident realimentarea cu suspensie abrazivă sub sculă devine mai dificilă.

Teoretic trebuie să admitem că valoarea presiunii statice este limitată superior, problema ce rămâne este de a vedea în ce măsură această limitare corespunde cu limitele actual admise și în ce măsură această limitare este sau nu impusă și de alți factori ce pot apărea în procesul de prelucrare (configurația sculei, suprafață, perimetru etc.). Evident că și p este condiționată la rândul ei de valorile amplitudinii (dar în ce măsură nu se știe) dimensiunea granulelor, de modul de alimentare de mărimea suprafeței de prelucrat (la suprafețe mari abrazivul pătrunde greu sub sculă) și chiar de proprietățile materialului de prelucrat. Rezultă că acest lucru din încercările efectuate de diverși autori, această interdependență fiind de altfel considerată normală.

Cea mai evidentă corelație mare nu este cea între A și p și anume cu creșterea amplitudinii poate crește presiunea (Figura 8.5).

Modul de variație al acestei dependențe este încă discutat și unume dintre unii există o variație linară (57), (50) după alții (61), ar reieși că la presiunea optimă adică aceea care asigură eficiența maximă amplitudinea diferă foarte puțin de valoarea pe care o atinge când presiunea este nulă. Hichimaru explică ^{acest} fenomen prin faptul evident că obținerea eficienței maxime depinde nu numai de întrebunțarea unei foarte mari de greutate rezultată indirect al presiunii, dar și de o amplitudine ridicată necesară realizării agitării și reînnoirii grăunților abrazivi. Considerăm necesitățile explicative mult mai temeinică și mai aproape de realitate deși observațiile noastre asupra sculelor mici au pus în evidență și o tendință de ușoară expulzare a suspensiei abrazive. Pe de altă parte perioada de *durabilitate* a abrazivului scade simțitor atunci când presiunea crește adică un motiv în plus ca să se lucreze în primul rând cu amplitudini mari de oscilație care permit presiuni mari în condițiile *mai* bune ^{de} circulație a abrazivului (40), (45).

Cercetări efectuate de Kops pe magini de serie au putut pune în evidență că presiunea optimă pentru care se obține o eficiență maximă corespunde la o forță de izbire cu ceva mai puțin mică decât forța maximă cu amplitudine numai cu puțin inferioară. Aceste rezultate sînt în concordanță cu cercetările lui Nishimura.

Aceste observații deși par cele mai apropiate de realitate nu sînt pe deplin împărtășite de alți autori și cercetători și de altfel așa după cum se va vedea în domeniul stabilirii unei presiuni optime și a interdependenței presiunii cu ceilalți factori ai prelucrării apar interpretări uneori chiar eronate. Astfel în figura 8.4. este redată viteza prelucrării și funcție de forța de avans pentru scule de diferite diametre. Din prima interpretare făcută asupra acestor curbe de prelucrare ar rezulta în mod direct că viteza prelucrării depinde, în primul rând de suprafața de prelucrat și în mai mică măsură de presiunea sistemului piesă-scule. În realitate însă observînd mai de aproape aceste dependențe se constată că vîrfurile de eficiență sau viteză corespund de fapt în ordine unor presiuni de 3 daN/cm^2 de $0,8 \text{ daN/cm}^2$ și $0,266 \text{ daN/cm}^2$.

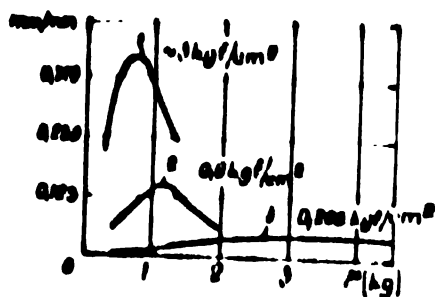


Fig. 8.4.- Variația vitezei de prelucrare cu sarcina (50).

putem atribui valori diferite de viteze de prelucrare datorită unor condiții eventual diferite de menținere și resmpropătare a suspensiei abrazive sub sculă mai ales la suprafețe mari de prelucrare. Această diagramă confirmă de fapt variația aproape liniară a eficienței cu presiunea de contact pînă în jurul valorii de 4 daN/cm^2 . Ținînd cont de acest lucru putem spune că sînt eronate sau mai mică măsură confirmate ipotezele (2) potrivit cărora p_{opt} ar fi invers proporțională la raza sculei ($p_{opt} = k \frac{1}{R}$). În realitate trebuie să urmărim aspectul menținerii și recirculației agentului eroziv sub sculă.

Acușt lucru este de fapt confirmat și de încercările experimentale efectuate de autor pe un set de scule tubulare începînd de la sculă plină pînă la sculă cu crețe subțiri unde avem variații ale suprafeței și unde dimpotrivă s-a confirmat că suprafața de prelucrare nu poate să influențeze în mod normal decât în foarte mică măsură eficiența prelucrării. Factorul ce influențează hotărîtor eficiența prelucrării este valoarea presiunii de contact. Tot literatura face remarcă că la prelucrarea materialelor mai dure cum sînt aliajele ceramice dure, presiunea optimă crește (50), (78), (73).

În concluzie pentru prima etapă observăm că existența unei valori optime a presiunii statice este explicată prin stabilirea celei mai avantajoase distanțe între piesa de prelucrat și sculă care ne dă adîncimea optimă de penetrație a abrazivului și cele mai bune condiții de circulație a suspensiei sub sculă. În acest context forța de impact ar trebui să fie atât de mare pe cît ea

Acușta ne face să tragem concluzia că de fapt eficiența nu poate să depîndă decât de valoarea presiunii. Acușta spune de fapt că viteza de prelucrare depinde de presiunea de contact și în mai mică măsură de aria suprafeței de prelucrare.

De aici se pare că în realitate nu există o dependență a presiunii optime în raport cu aria de prelucrare. În situația de față

este posibilă. S-au pus în evidență două procese diferite și anume creșterea presiunii statice astfel dar nu așa de mult încât să suprimă sau atenueze vibrația ce duce la creșterea forței de impact și a adâncimii de penetrație a granulelor abrazive astfel încât în final rezultă o creștere în proporție îndepărtării materialului piesei, iar pe de altă parte creșterea presiunii prin reducerea distanței dintre piesă și sculă impune restricții la reîmprospătarea abrazivului și îndepărtarea produselor eroziunii (50).

Granulele abrazive în zona prelucrării sunt distruse în câteva secunde de scula ce vibrează, iar absența abrazivului proaspăt reduce viteza de prelucrare. Rezultatele experimentale confirmă acest lucru. Cu o sculă de diametru mic condițiile de circulație a abrazivului sînt foarte bune și primul mecanism predominant. Forța de impuls ar trebui să crească pe cît de mult este posibil astfel încît creșterea ^{pătrunderii} granulei de abraziv să ducă la creșterea eficienței. Oricum în acest caz presiunea statică p_{opt} are un maxim destul de ridicat. Se pare că aceasta este explicația de ce unii autori oferă valori de 16 daN/cm^2 . (50). Pe de altă parte cu scule de ϕ mare (suprafața mare) cel de al doilea factor devine important. Condițiile optime se găsesc în această situație la valori mai inferioare ale lui p_{opt} , fiind distanța contra-periferică mai mare atunci condițiile pentru circulația abrazivului sînt mai dificile și astfel p_{opt} de valoare scăzută se impune crescînd numărul granulelor de abraziv ce pot acționa efectiv.

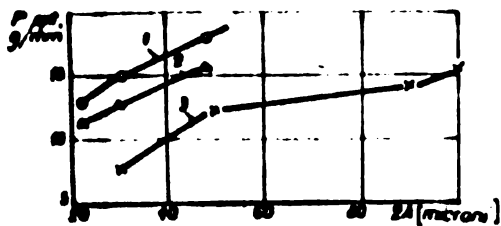


Fig. 8.5. Dependenta presiunii

de contact cu amplitudinea (50).

considera mai departe primul efect ca cel predominant și deci valoarea optimă a presiunii trebuie să se situeze la valori de

Nota autorului se referă tocmai la cea de a doua interpretare arătînd și subliniind că aceasta nu poate fi valabilă decât în situația cînd într-adevăr nu există mijloace de a asigura reîmprospătarea cu abraziv.

În condițiile unei circulații cu absorbție sau retrageri in-

termittente a sculei acest efect este diminuat astfel că se poate

vîrf. În proiectarea sistemului de avans s-a avut în vedere în primul rînd realizarea unui mecanism sistem care să fie cît mai convenabil prelucrării din acest punct de vedere și să se pare că sistemul de avans intermitent în care presiunea de contact variază fiind mare la început și scăzînd într-un ciclu de prelucrare (bineînțeles în limitele stabilite) urmată de o reîmpropătare periodică, ar fi sistemul convenabil. O altă observație se referă la faptul că la creșterea raportului periferic / suprafață, cînd $\text{supraf.} = \text{const.}$ condițiile de circulație se îmbunătățesc iar p_{opt} crește. Această teorie se impune însă a fi verificată. Pentru confirmarea ipotezilor anterior prezentate autorul a recurs la o serie de încercări experimentale chiar pe modelul de mașină proiectat care în mare măsură au confirmat cele anterior prezentate.

Astfel s-a pornit de la ideea că se admite ca valabilă ipoteza formulată de Adithan și Kazanțev potrivit căreia în prelucrarea ultrasonică a orificiilor circulare străpunge sau înfundate de o anumită valoare a diametrului și-ar fi dovedit eficacitatea prelucrării sculelor tubulare în locul celor pline. Ideea în sine a fost confirmată și de încercările autorului dar interpretarea rezultatelor diferă de cele ale altor autori și chiar esențial în anumite privințe. De remarcă că aceste încercări au confirmat tocmai faptul că eficiența prelucrării este în directă legătură cu presiunea și nu cu factorul de formă a sculei. Mai mult au apărut chiar unele constatări surprinzătoare pentru care însă autorul exprimă rezerva avînd în vedere numărul relativ redus de încercări și care de fapt cer o confirmare experimentală mult mai substanțială. În cele ce urmează se prezintă modul de lucru și interpretarea acestor rezultate experimentale. Cu scule tubulare cercetătorii admit că există cel puțin 2 factori de bază care determină cu viteză prelucrării V (mm/min), adîncimea prelucrării H (mm) și uneori chiar și capacitatea productivă C (mm³/min) să fie mai mare la sculele tubulare decît la cele pline. Sculele tubulare permit o mai ușoară reîmpropătare a locului prelucrării cu suspensie abrazivă și eliminarea produselor de eroziune, astfel că între viteza de fărîmătură a materialului și viteza de înlocuire a abrazivului e mai ușor de realizat condiția egalității. În al doilea rînd apare faptul evident că în aceeași

valoare a capacității productive Q sculele tubulare vor permite o viteză V și o adâncime H mai mare. Acest lucru a rămas de fapt în lucrările (2), (4) unor autori însă nu sînt făcute suficiente precizări privind rolul presiunii de contact piesă-sculă și rolul adâncimii de pătrundere a sculei care în cazul unei alimentări prin simplă stropire a suspensiei abrazive poate fi hotărîtoare. Avînd în vedere aceste considerații s-au făcut un număr mare de încercări pe plăci de sticlă de 8 mm grosime (sticlă fiind materialul cel mai semnificativ prelucrării ultrasonice) cu o suspensie abrazivă de carburi de siliciu cu o concentrație volumică de circa 60% în apropierea limitei lipirii de hinderanța sterică, granulație 12 aplicată prin stropire. Sculele utilizate au avut dimensiunile diametru exterior 10 mm iar ϕ int = 2, 4, 6, 8, 9 mm la o lungime de 10 mm fiind confecționate din OSC 10 și atașate concentratorului prin înjurare.

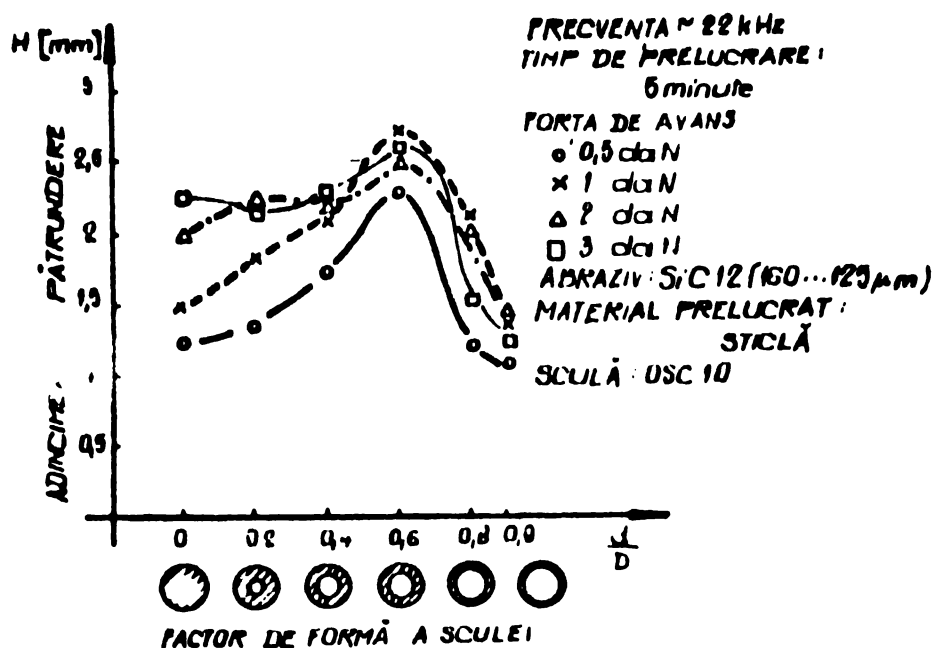


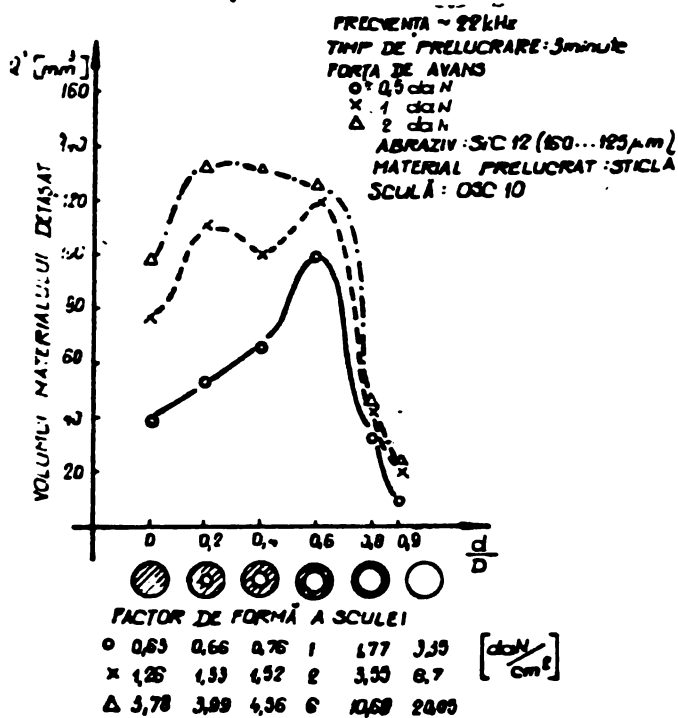
Fig. 8.6. - Variația adâncimii de pătrundere după 3 minute de prelucrare

mărimon forței de avans pentru scula tubulară avînd factorul de formă $d/D=0,6$. Totodată se constată că adâncimea de pătrundere crește cu creșterea forței de avans și scade substanțial pentru sculele tubulare subțiri $d/D > 0,6$.

Pentru toate încercările amplitudinea oscilației a fost păstrată constantă. S-au obținut o serie de rezultate ce a lăsat întrebarea lor. Urmind adâncimea de pătrundere H (fig. 8.6) după 3 minute de prelucrare, se constată că valoarea maximă atinsă se obține în diferent de

Prind pentru aceeași durată de prelucrare (figura 3.7) cantitatea de material îndepărtat Q' se constată că aceasta este mai mare pentru scule cu factorul de formă $d/D=0,6$ doar în cazul forțelor de avans de 0,5 daN și 1 daN. În cazul forței de avans de 3 daN valoarea maximă a cantității de material înlăturat se obține în dreptul sculei cu $d/D=0,2$.

Când se privește sculele cu $d/D > 0,6$ se constată o scădere accentuată a cantității de material înlăturat Q' .



3.7.- Variația volumului de material detașat după 3 minute de prelucrare.

proprie de cea obținută pentru scula cu $d/D=0,6$.

Dacă pentru forțele de avans de 3 daN se face prelucrarea timp de 7 minute se constată că în acest caz adâncimea maximă de pătrundere nu îi corespunde pentru scula cu $d/D=0,6$ ci pentru scula cu $d/D=0,2$ (figura 3.9.).

Privește volumului de material detașat Q' , după o prelucrare de 5 minute se constată că valoarea maximă se păstrează pentru scula cu $d/D=0,6$ doar în cazul forței de avans mică (0,5 daN), iar pentru forțele de avans de 1 daN, 2 daN și 3 daN valoarea

Dacă timpul de prelucrare se mărește la 5 minute se constată (figura 3.8) că și în acest caz adâncimea maximă de pătrundere se obține pentru scula cu $d/D=0,6$, dar de data aceasta valorile adâncimilor de prelucrare pentru scule cu $d/D < 0,6$ sînt cu cît mai apropiate de valoarea maximă cu cît forța de avans e mai mare.

Se constată că pentru forța de avans de 3 daN valorile adâncimii de pătrundere pentru sculele cu $d/D < 0,6$ și chiar pentru cea cu $d/D=0$ sînt mult mai

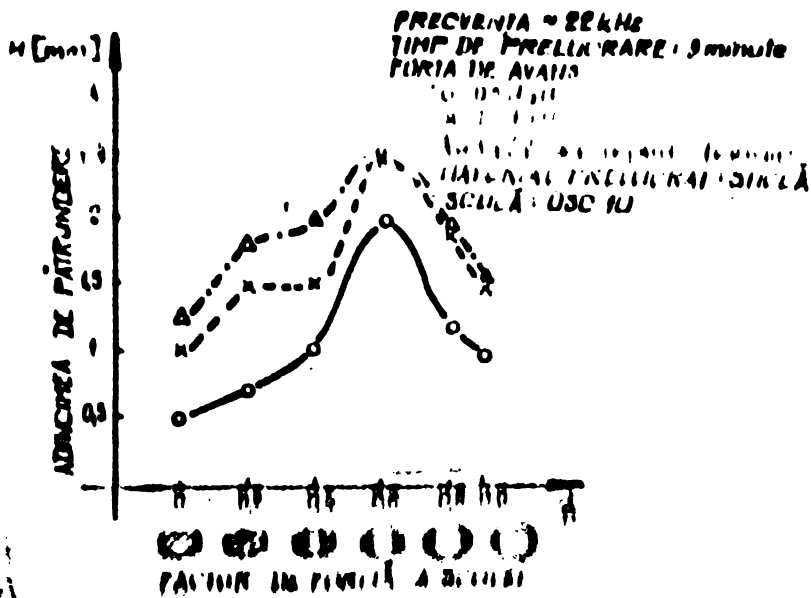


Fig.8.8.- Variația adâncimii de pătrundere după 5 minute de prelucrare

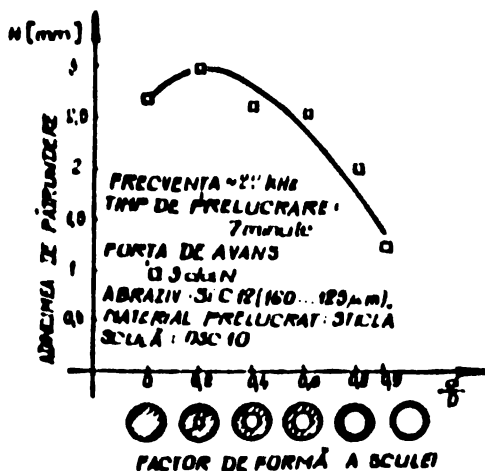


Fig.8.9.-Variația adâncimii de pătrundere după 7 minute de prelucrare.

...toate acestea sunt punctele de contact
 toate cu $d/D < 0,4$, $d/D < 0,2$
 și respectiv $d/D < 0,1$,
 ceea ce înseamnă că în timpul
 molidirii se realizează un
 număr mare de puncte de contact
 între bule și forța de avans
 de 3 daN valoarea maximă
 a lui Q^* se produce pentru
 scula cu $d/D < 0,2$ practic
 pentru scula olină (figu-
 ra 8.11).
 În cazul în care se realizează
 contacte constante între
 molidire și bule se poate
 scula cu $d/D > 0,6$ și
 atunci valoarea constantă
 a cantității de material
 îndalțat Q^* pentru aceste
 scule.

Aceste constatări par să
 fie în contradicție cu cer-
 cetrile experimentale an-
 terioare, însă rezultatele
 obținute trebuie puse în
 concordanță cu parametrul
 tehnologic principal și
 anume presiunea de contact
 p_c între piatră-scule.
 Urzind punctele de miza
 de pe curbele $H=f(d/D)$ și
 $Q^*=f(d/D)$ din figurile
 8.6, 8.7, 8.8, 8.9 și 8.10
 se constată că de fapt
 acestea corespund unor
 valori ale presiunii de
 contact cuprinse între
 1 și 4 daN/cm².

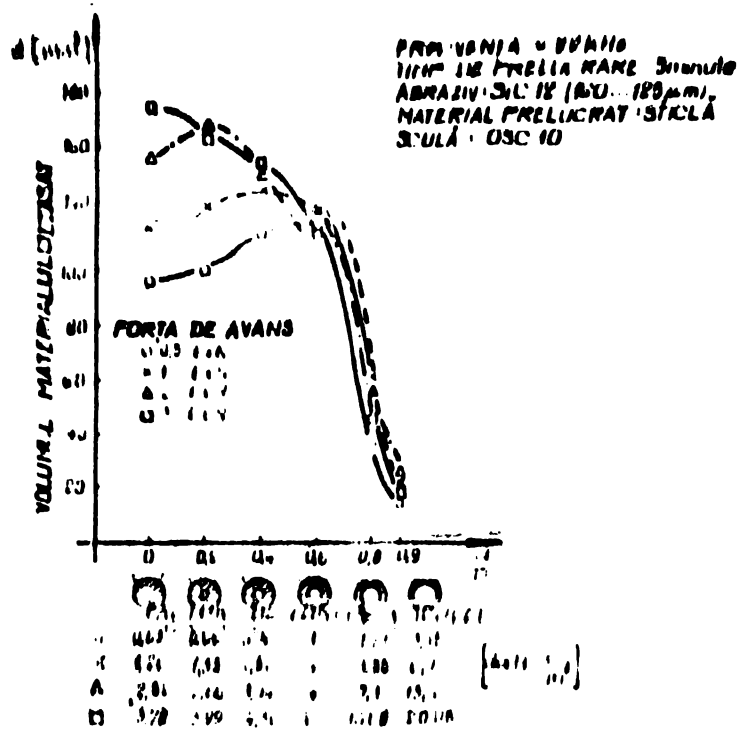


Fig. 8.10.- Variația volumului de material detașat după 5 minute de prelucrare.

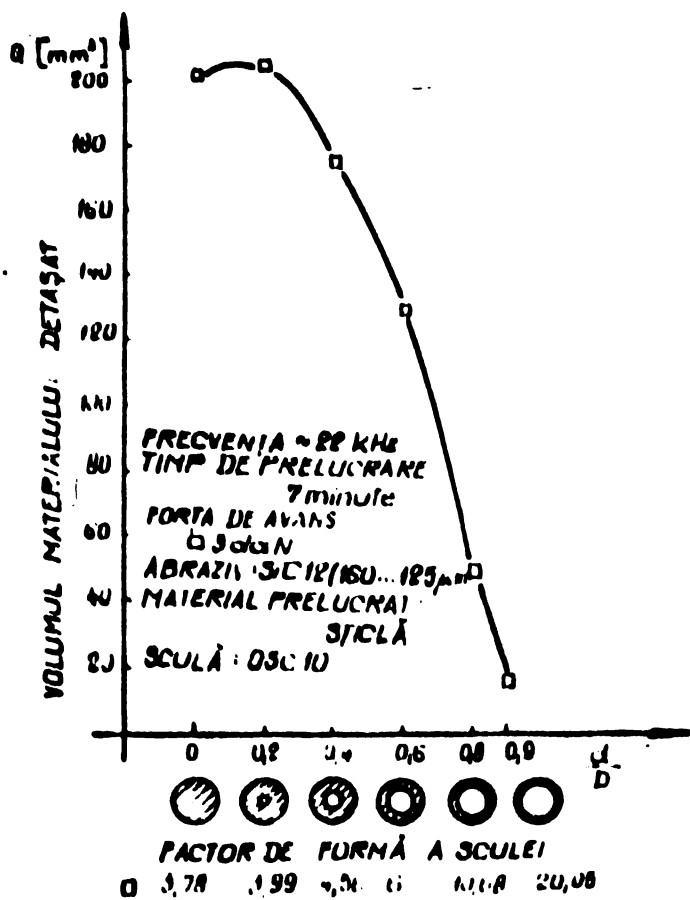


Fig. 8.11.- Variația volumului de material detașat după 7 minute de prelucrare.

creșterea duratei de prelucrare, datorită condițiilor tot mai dificile de circulație și reîmpropățare a suspensiei abrazive.

Amplasarea în funcție de timp
 prin concluzia că de fapt
 nu reîmpropățarea și
 circulația abrazivului
 este factorul
 determinant al profunzimei
 de contact.

Doar în cazul sculelor
 cu $d/D > 0,6$ se constată
 valori reduse ale H și

și cantității de material
 detașat. În cazul
 de contact, unde
 H și Q^* sunt
 mici, nu se poate
 considera că în
 aceste condiții
 există tendința de
 exhalare a
 suspensiei abrazive
 cu creșterea
 adâncimii de
 prelucrare, datorită
 câmpului acustic
 puternic. În
 figurile 8.12, 8.13,
 8.14, 8.15 și 8.16
 se vede că volumul
 de material
 îndepărtat Q^* , după
 5 minute de
 prelucrare este
 maxim la
 prelucrarea
 de 4 dan/cm² la
 sculele
 pline și între
 2-4 dan/cm² la
 sculele
 tubulare,
 după care
 creșterea
 profunzimei de
 contact
 determină o
 ușoară
 tendință de
 scădere a
 lui Q^* .
 Totodată
 trebuie să
 se țină
 cont de
 scăderea
 adâncimii de
 pătrundere
 H și a
 cantității de
 material
 îndepărtat
 Q^* , cu

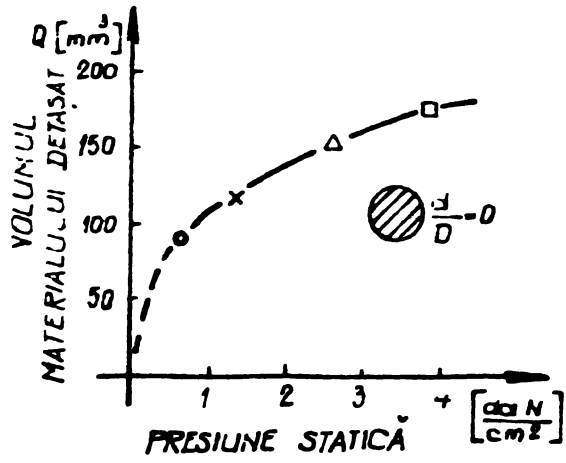


Fig. 8.12.

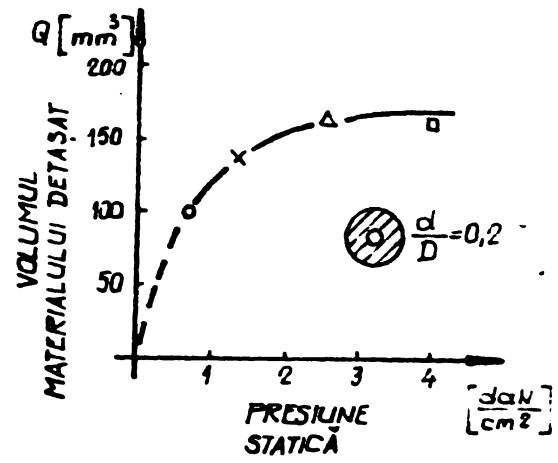


Fig. 8.13.

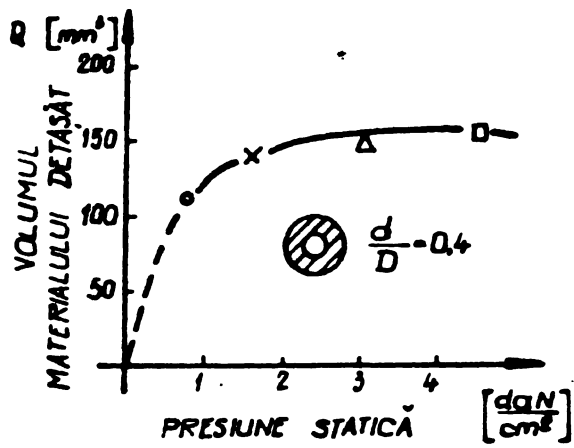


Fig. 8.14.

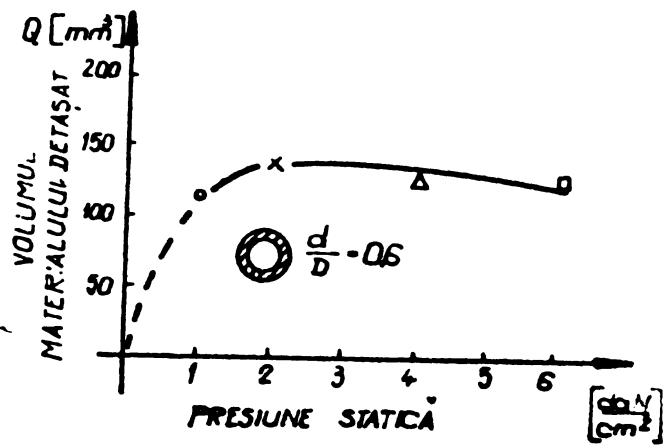


Fig. 8.15.

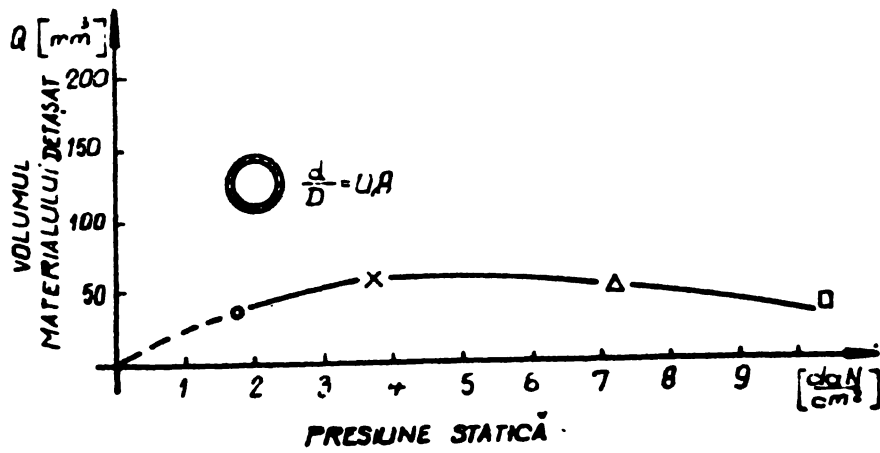


Fig. 8.16.

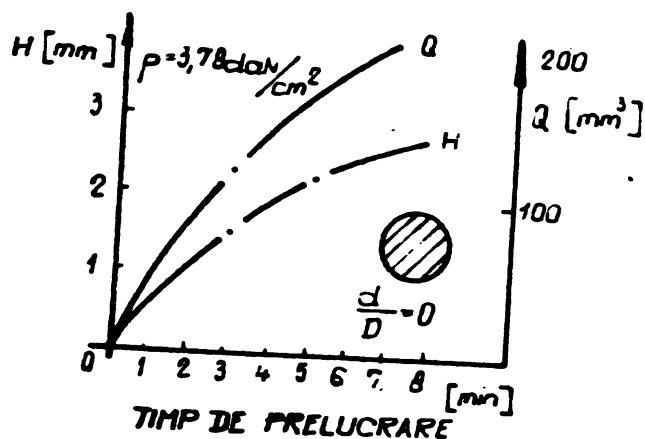


Fig. 3.17.—Dependența Q și H timpului de prelucrare la scule $d/D = 0$ (scule pline)

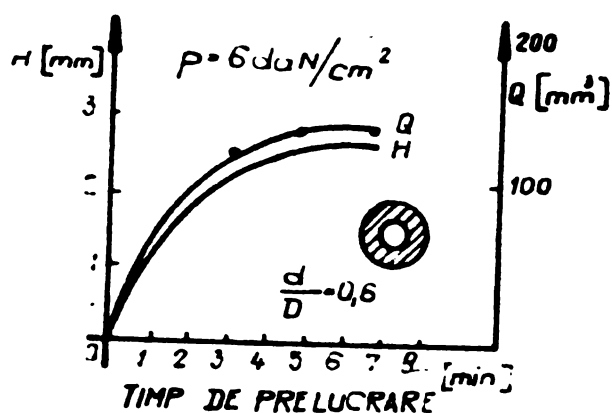


Fig. 3.18—Dependența Q și H timpului de prelucrare la scule cu $d/D = 0,6$.

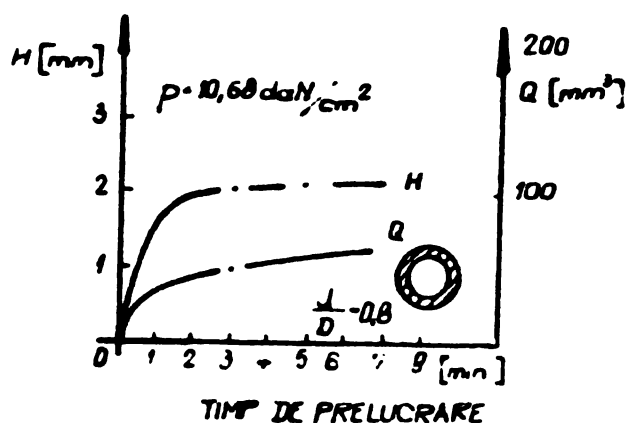


Fig. 3.19.—Dependența Q și H timpului de prelucrare la scule $d/D = 0,8$.

Din figurile 3.17, 3.18 și 3.19 se vede că la sculele tubulare scăderea este cu atât mai rapidă cu cât d/D este mai mare. Pentru sculele cu $d/D = 0,8$ după primul minut de prelucrare, aceasta devenind dificilă.

Surprinzător, sculele pline permit o prelucrare în condiții mai bune și la adâncimi mai mari. Într-o primă aproximație putem să asumăm ideea că la sculele tubulare cu $d/D > 0,6$ mai există o tendință de "exulzare" a abrazivului pe când la sculele pline se pare că există o confirmare indirectă la teoria lui Miller. Potrivit acestei prelucrarea avansează sub formă unui inel de la marginea sculei către centru și acest lucru ar putea favoriza o bună reînnoștare cu suspensie abrazivă. Rezultă deci că sculele tubulare cu $d/D = 0,6$ pot fi avantajoase doar în cazul unor prelucrări de grosimi mici ($H < 1$ mm). Pentru $H > 1$ mm doar cu sisteme de reînnoștare a suspensiei abrazive prin retragerea intermitentă a sculei sau prin absorbția prin vid.

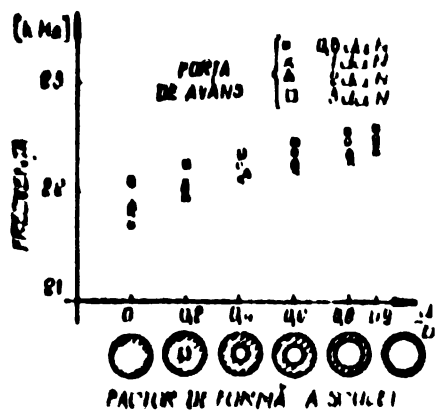


Fig. 8.20.- Doplasarea frecvenței de rezonanță cu creșterea valorii presiunii de contact și a masei sculei.

cității productive. Pe de altă parte rezultă că forma și dimensiunile sculei nu constituie un factor tehnologic acționând prin intermediul presiunii de contact p și a lui k caracteristica suspensiei și a modului de alimentare ce acționează în ecuația productivității prelucrării $Q = \phi(f, A, n, k)$.

S-au impus și unele concluzii colaterale și anume că pentru prelucrările ultrasonice cu stropire a suspensiei, sculele cele mai avantajoase sînt cele cu raportul $d/D = 0,6$ pe cînd sculele tubulare cu pereți subțiri sînt dezavantajoase și duc chiar la înrăutățirea suprafeței prelucrate.

În cazul prelucrărilor de profunzime ducă se asigură condiții bune de circulație, chiar sculele pline pot fi avantajoase. Evident că deși apar oțeva concluzii clare aceste încercări trebuie să se privească critic și anume faptul că nu există anumite limite în modul de efectuare a experimentărilor. Aceste limite se leagă de faptul că toate încercările s-au făcut pentru aceeași valoare constantă a amplitudinii oscilației fără să se poată preciza eventuala ei influență asupra rezultatelor. Experimentările au cuprins doar o singură dimensiune de sculă, un singur material (sticla) și un singur tip de abraziv, iar modul de alimentare a fost prin stropire, iar studiul s-a făcut pentru adîncimi de

În final în figura 8.20 se prezintă variația frecvenței de rezonanță și așa cum era de așteptat masa sculei influențează frecvența de rezonanță.

Se constată totodată că valorile ridicate ale forței de avans (3daN) se materializează de asemenea prin creșterea frecvenței de rezonanță.

În urma analizării acestor experimentări rezultă că factorul tehnologic principal ce determină eficiența prelucrării este presiunea de contact p a cărei valoare $p_{opt} = 1-4 \text{ daN/cm}^2$. Depășirea limitei de 4 daN/cm^2 duce la o scădere lentă a capă-

prelucrării relativ mică sub 5 mm. În această privință (a adin-
cării) trebuie înțeles remarcant că în cazul prelucrărilor ultraso-
nice, această condiție este în multe cazuri o condiție necesară,
deci limita admisibilă de noi nu denotă rezolvarea semnificativ rezul-
tatele. Sistemul de avans al mașinii este de tip intermitent
cu o sensibilitate mai mare față de valoarea prestabilită în
forțe mari de avans și cu o sensibilitate mai mică în forțe mici
de avans.

Acestor rezultate li s-a adăugat în parte și rezultatele unor
alte experimentări colaterale vizând aceluși lucru și anume
stabilirea condițiilor optime de proiectare a sistemului de
avans.

8.3. Stabilirea tipului constructiv pentru sistemul de avans (SA).

La stabilirea tipului sistemului de avans se au în vedere
cel puțin pentru mașina experimentală 3 criterii:

- criteriul ce are în vedere dinamica și mecanismul pre-
lucrării
- criteriul cinematic constructiv
- criteriul posibilităților de dezvoltare și introducere
a elementelor specifice comenzii adaptive.

Din punct de vedere al dinamicii prelucrării se admite ur-
mătoarea ipoteză (figura 8.21).

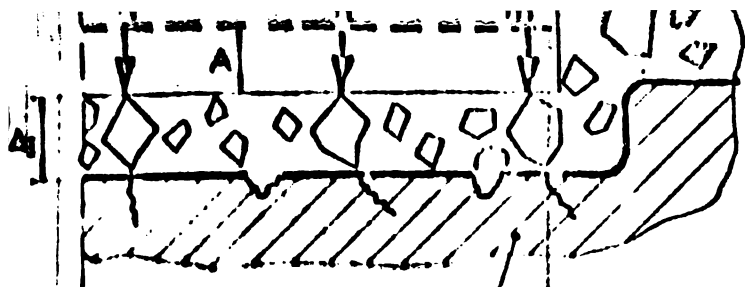
În prima fază a prelucrării are loc în momentul intrării în
contact a sculei cu granulele abrazive de maximă înălțime și
prin intermediul acestora cu piesa, contactul sculei se face cu
un număr limitat de granule având înălțimea maximă. În prima eta-
pă important din punct de vedere al prelucrării este de a se luc-
ra la valori mai mari ale presiunii de contact acceea asigurând
asupra fiecărei granule în contact o forță mai mare de impact
tocmai în scopul amorțirii fisurilor necesare prelucrării.
(Aceasta în concordanță cu teoria cea mai accentuată a meca-
nismului intim al prelucrării (50), (61), (76), (72)). Iată deci
că în prima fază a prelucrării potrivit acestui mod am avea nevoie
de presiuni de contact înspre valoarea optimă superioară (~ 4
daN/cm²). tocmai în scopul asigurării impactului dorit.

În timpul prelucrării datorită distrugerii acestor particule se realizează treptat în câteva secunde o egalizare a mărimei granulelor abrazive de sub sculă în sensul că cele ce au avut dimensiunile cele mai mari nu sunt și cele mai active dar și cele mai supuse distrugerilor. În etapa aceasta important este ca supra-taturor granulelor abrazive sau cel puțin asupra unui număr mai mare de granule abrazive să se acționeze în sensul micșorării forței de impact corespunzătoare fiecărei granule aceasta ușurând și circulația abrazivului prin valoarea mai scăzută a presiunii și pentru ușurarea îndepărtării produselor de eroziune. Corespunzător acestei faze, faza de sfârșit pentru un număr corect de granule am avea nevoie de o presiune de contact ceva mai mică decât valoarea presiunii optime adică la limita ei inferioară ($0,5 \text{ daN/cm}^2$). În această etapă cel de al doilea fenomen ar fi preponderent. Intervalul dintre prima și a doua etapă a erodării nu este precizat cu exactitate el fiind de ordinul secundelor conform experimentărilor noastre încă această problemă rămâne încă deschisă.

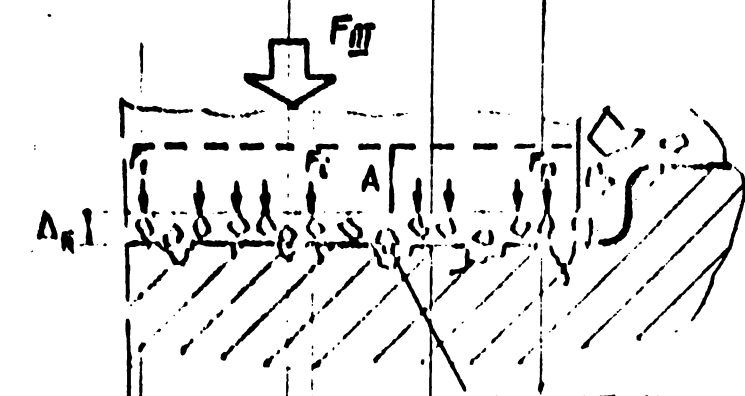
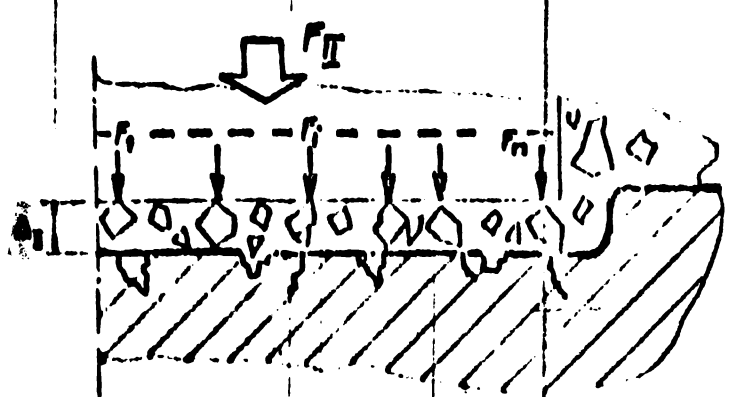
În continuare ar urma o nouă fază la fel ca și prima bazată pe argumentul că spre sfârșitul fazei anterioare datorită turbidării suspensiei de sub sculă și a condițiilor mai prielnice de turbidare sub acțiunea cavității, un nou set de granule de dimensiuni mai mari ar putea intra sub sculă. Evident probabilitatea de reîmprospătare în această situație este mai redusă pentru un mecanism de avans neconvențional simplu, însă mare pentru un mecanism neconvențional cu retrageri intermitente ale sculei după 1,2 sau 3 faze de eroziune.

Reîmprospătarea pentru a doua fază sau în urma repetării de mai multe ori a acestor faze ar fi posibilă efectiv dacă corespunzător acestui ciclu, - presiunea optimă maximă - presiune optimă minimă - i-ar corespunde la anumite intervale și retrageri pentru reîmprospătare.

Un astfel de regim de lucru nu poate fi îndeplinit de un mecanism cu acționare continuă decât cu complicații în construcția elementelor de comandă și prin programare. Evident că acest regim de lucru este apreciat teoretic pe baza unor experimentări urmînd ca practica să confirme sau nu valabilitatea lui. Există mai multe aspecte încă puțin clare legate de acest regim de eroziune admis, dar în primul rînd ele se referă la durata necesară între presiunea maximă și presiunea minimă.



MATERIAL DE PRELUCRAT



MATERIAL DE PRELUCRAT

- I Suspensie abrazivă proaspătă sub sculă - presiune de contact maximă
- II Suspensie abrazivă parțial distrusă și material prelucrat sub sculă - presiune de contact medie, minimă decât valoarea maximă p_0
- III Suspensie abrazivă distrusă și material prelucrat sub sculă - presiune de contact $\approx p_0$

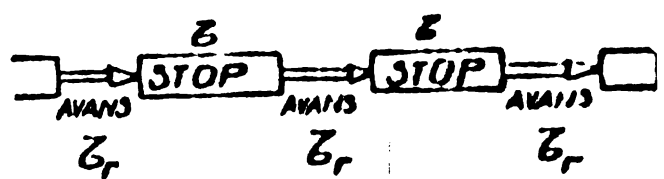
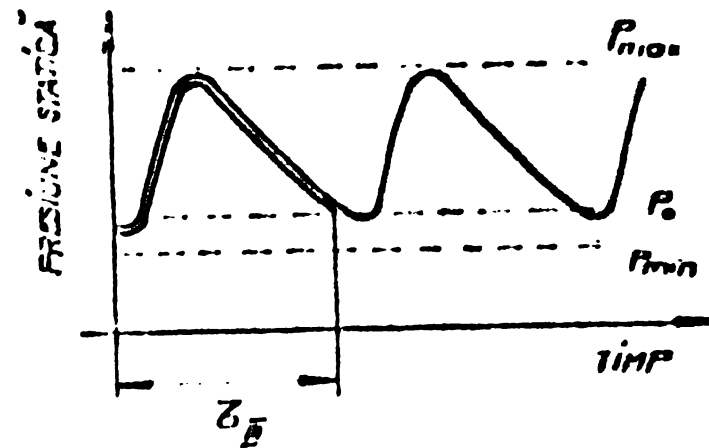
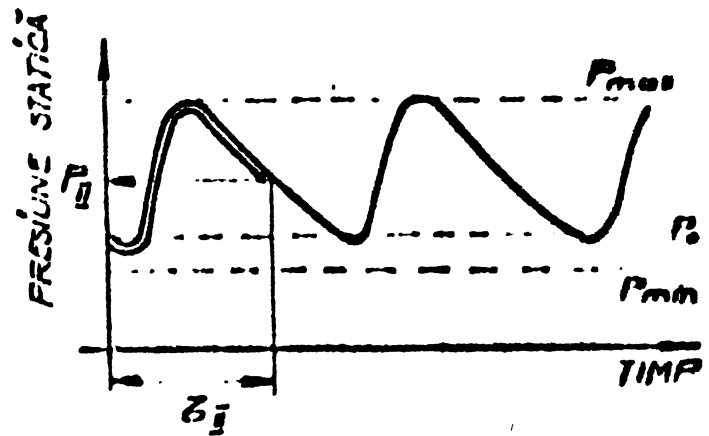
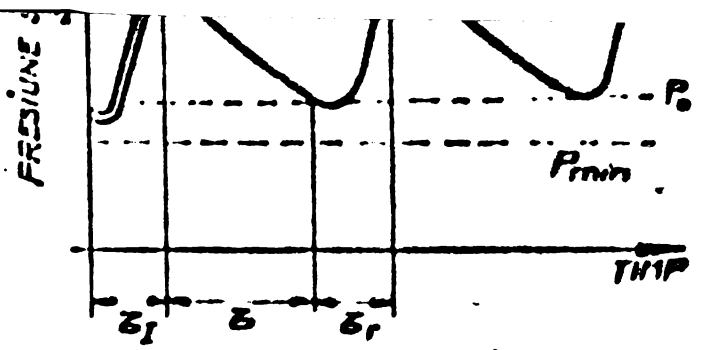
$\Delta_I < \Delta_{II} < \Delta_{III}$ (spațiu sculă-piesă)

δ - durată întreruperii avansului (stop)

δ_r - durată recuperării avansului (stop)

δ_I - momentul favorabil producerii microfisurilor

δ_{II} - momentul favorabil eliminării materialului detașat



$P_I > P_{II} > P_{III}$

$F = P \cdot S$ (S - suprafață de contact)

$F_I > F_{II} > F_{III}$

și cum

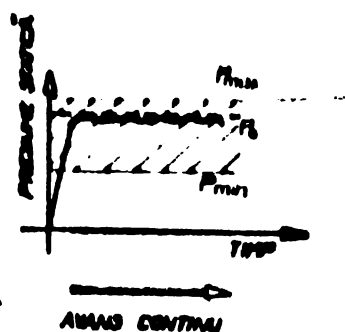
$n_I < n_{II} < n_{III}$

cu atât mai mult

$F_{II} > F_{III} > F_I$

Fig. 8.21. - Schema dinamică prelucrării ultrasonice la magiul cu sistem de avans intermitent.

Revonind asupra principiilor tipuri de sisteme de avans, se constată că de fapt indiferent de tipul lor constructiv (mecanic, electro mecanic, hidraulic sau pneumatic) realizează funcția presiune staționară $p = f(T)$ în trei variante posibile: cum se face să se poată obține din acest punct de vedere în sisteme de avans „continuu” (cu variante „continuu” cu retrageri periodice), sisteme de avans „combinate cu retrageri” sau sisteme de avans „intermitente” (neconveniente).



88

Fig. 8.22. - Funcția $p=f(T)$ a unui sistem de avans continuu.

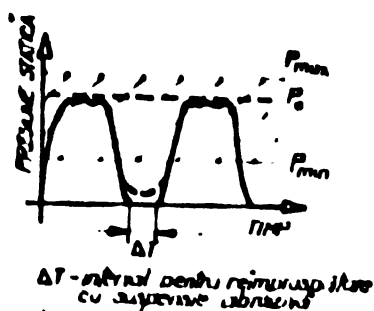


Fig. - 8.23. - Funcția $p=f(T)$ a unui sistem de avans continuu cu retrageri periodice pentru reîmprospătare

optim ($p_{max} - p_{min}$). Oscilațiile presiunii în timpul lucrului în jurul lui p_0 amplitudinea și frecvența acestora fiind foarte mult de sistemele de șezizare (elemente cu contacte, traductori de forță) ale mașinii ultrasonice și de caracteristicile cinematice

Urmiind funcția $p = f(T)$ pentru sistemele continue (figura 8.22.) se observă că ele păstrează presiunea de lucru foarte apropiată de valoarea p_0 rentabilității din domeniul presiunii optime ($p_{min} = 0,5 \text{ daN/cm}^2$ iar $p_{max} = 4 \text{ daN/cm}^2$) Valoarea p_0 se poate stabili inițial oriunde în domeniul de lucru, însă nu se putea ține cont de dinamica prelucrării anterioare de lucru.

Pentru eliminarea acestui inconvenient și pentru a face posibilă o prelucrare mai eficientă și la profunzimi mai mari foarte multe sisteme de avans continuu sînt prevăzute cu posibilitatea unei retrageri periodice (comandate sau programate) a sculei de la locul prelucrării în scopul reîmprospătării cu suspensie abrazivă. (figura 8.23.).

Caracteristica $p=f(T)$ pentru sistemele de avans combinate cu retrageri (figura 8.24) sun în evidență faptul că la acestea valoarea rentabilității a presiunii p_0 trebuie să se găsească aproximativ în mijlocul domeniului

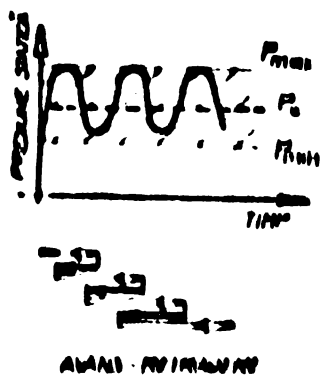


Fig. 8.24 - Funcția $p=f(t)$ pentru un sistem de avans combinat cu retragere. 1).

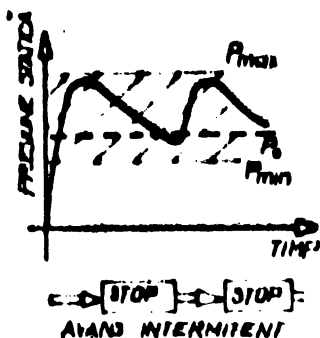


Fig. 8.25.-Funcția $p=f(t)$ pentru un sistem de avans intermitent (neconvențional).

raportul 40/1). În general în sistemele mecanice și electromecanice acest lucru se transpune în complicații constructive în veriga executantă mai ales și scăderi substanțiale de randament. La fel aceste viteze mici de prelucrare și variabile totuși pe un domeniu larg impun soluții constructive mai protentive și la sistemele pneumatice sau hidrolice care includ și dezavantajul unor tehnologii complicate. Din acest punct de vedere mai puțin dezavantajos pare a fi sistemul de avans combinat cu retragere, cinematic mai simplu însă cu complicații în elementele transductoare.

Singurul sistem convenabil constructiv și funcțional ar fi sistemul cu avans intermitent care permite o cinematică mai simplă față de celelalte. În acest tip de sistem se realizează o viteză de avans cu mult superioară vitezelor prescrise de prelucrare,

de către sistemul de avans.

Acum sistem de avans se poate apro-
pla cu și funcționarea de corințele
dinamice precum și de creșterea ul-
trasonice.

Caracteristicile sistemului de avans
intermitent $p=f(t)$ care se pare că
se potrivește cel mai bine din punctul
de vedere de creșterea ultrasonice
este redată în Figura 8.25. Se vede
că în general valorile probabile
 p_0 a presiunii de lucru se fixează
în vecinătatea lui p_{min} , dar revăzând
caracteristicile cinematice ale sis-
temului de avans se poate influența
atât asupra poziției lui p_0 cât și
chiar asupra formei caracteristice
a variației $p=f(t)$.

Urmărind din punct de vedere
constructiv aceste sisteme de avans
se constată că sistemele continue
fie că sînt mecanice, electromecanice
hidraulice sau pneumatice trebuie să
realizeze viteze de avans foarte mici
într-un domeniu destul de larg (vezi

doar viteza mare de avans, dar este fragmentarea lentă și
 întotdeauna a rezultatul este obținut viteza mare de avans
 de avans în timpul care este stabilită pentru scopurile de
 impuse de dimensiunile producției.

Un astfel de sistem realizat și de către permite o construcție și
 adaptare mai comodă a unor faze de retragere pentru reînălțare
 tare pe de o parte, dar și de altă parte a unor de realizat cu
 mijloace tehnice mai simple și chiar permite urmărirea comodă a
 ciclului de producție. De remarcă că sistemul de avans astfel
 conceput nu reproduse nici una din soluțiile existente pe mașini
 ultrasonice din străinătate fiind astfel sub patent.

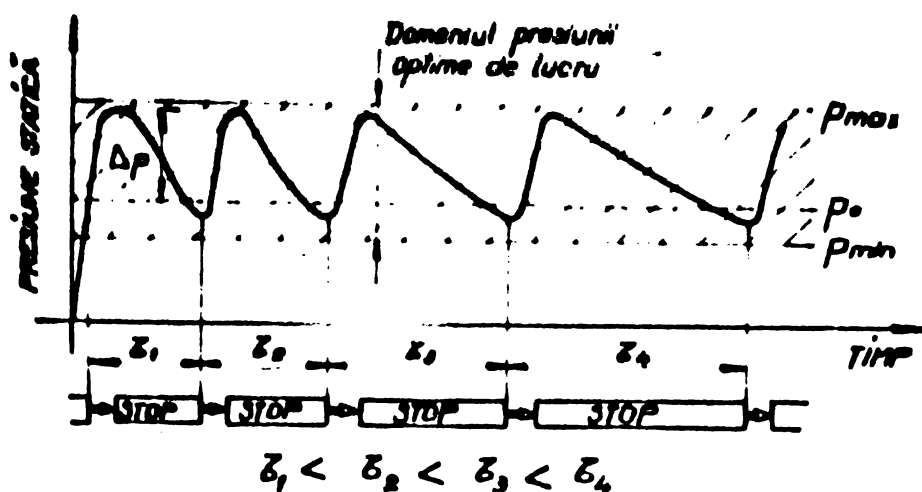


Fig. 8.26.- Funcția generală $p=f(T)$ a sistemului de avans al mașinii ultrasonice realizate.

O serie de încercări preliminare asupra sistemului de avans al mașinii ultrasonice realizate au pus în evidență o caracteristică generală $p=f(T)$ asemănătoare celei din fig. 8.26. Se observă că viteza de avans este mare (porțiunea de creștere rapidă a presiunii) impunând în general adaptarea lui p_0 spre limita inferioară a domeniului optim. Mărimea creșterii Δp peste valoarea lui p_0 depinde de viteza avansului, de inerția verigii executante și mai mult de viteza de reacție a sistemului de acționare ce acționează prin oprirea avansului (STOP) la atingerea lui p_0 . Toate aceste elemente însă sînt reglabile în anumite limite sau supuse posibilității de perfecționare în sensul dorit.

Întrucât ΔP și schimbările de viteză pot să fie și negative, se poate să se realizeze și o scădere a vitezei de prelucrare în timpul procesului de prelucrare. În acest caz, viteza de prelucrare obținută în timpul procesului de prelucrare este mai mică decât viteza de prelucrare inițială. Acest lucru se poate întâmpla în cazul în care se realizează o schimbare de viteză în timpul procesului de prelucrare, respectiv în timpul de "STOP".

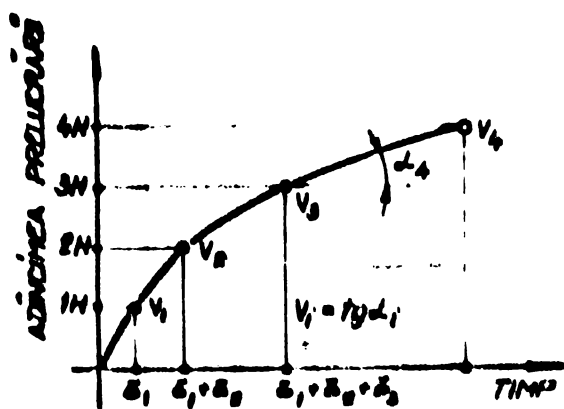


Fig. 8.27. Tendința de scădere a vitezei de prelucrare la sistemul de avans intermitent realizat.

Urmiind diagrama din figura 8.26, se poate constata că în timpul procesului de prelucrare, cu creșterea înclinației, posibilităților de realimentare cu punctele obiectivă există tendința creșterii duratei unei faze prin creșterea duratei de fragmentare a avansului "STOP", astfel că de fapt viteza de prelucrare va urmări o tendință de scădere (figura 8.27.).

Eliminarea acestui neajuns se poate face prevăzând siste-

temul cu posibilitatea executării unor retrageri periodice ale sculei pentru reîmpănărire, retrageri care să se efectueze atunci când durata ciclului (avans-stop) depășește o durată anterior stabilită și admisă ca limită. În figura 8.28 se vede caracteristica $n=f(T)$ a unui sistem de avans intermitent cu posibilități de retragere periodică pentru reîmpănărire. Se vede că

$\delta_2 > \delta_1$, ceea ce declanșează retragerea impunând apoi reluarea prelucrării în condițiile în care $\delta_1 \approx \delta_0$. Rezultă urmărind diagrama din figura 8.29 că acest sistem intervine automat nepermițând scăderea vitezei de prelucrare sub o anumită valoare. Ceea ce este deosebit de remarcant că retragerea de reîmpănărire la modelul de mașină ultrasonice realizată este comandată de însăși faza de prelucrare (faza 1, faza 2 sau faza 3) în urma unui reglaj (programări) anterior stabilit de operator.

Retrageri periodice frecvente după fiecare fază (faza 1) se impun mai ales la prelucrarea materialelor mai grele (carburi, oțeluri dure) prelucrabile și la adâncimi mai mari, iar retrageri după a treia fază (faza 3) de exemplu la prelucrarea materialelor moi

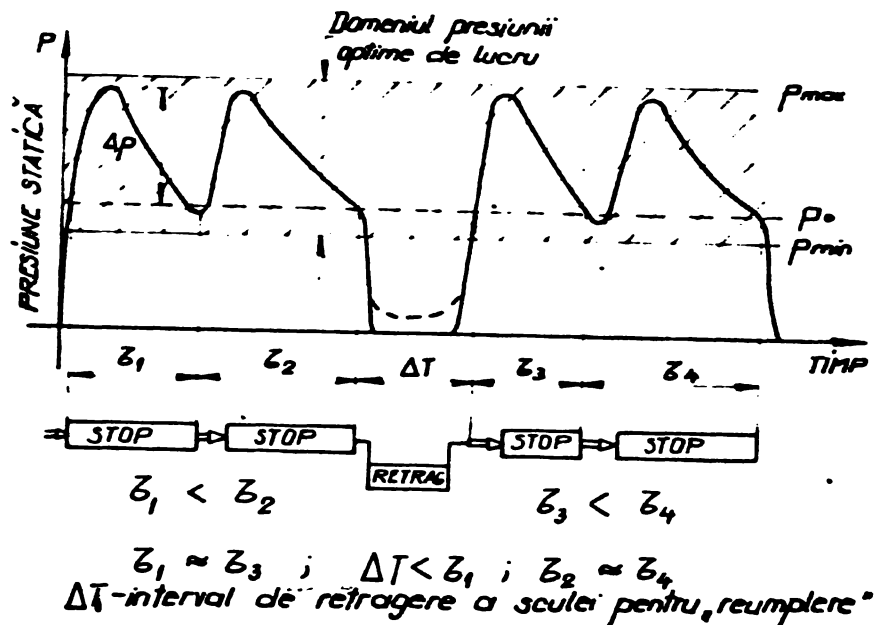


Fig. 8.28.- Funcția generală $p=f(T)$ a sistemului de avans al mașinii realizate, când se introduc retragerile periodice.

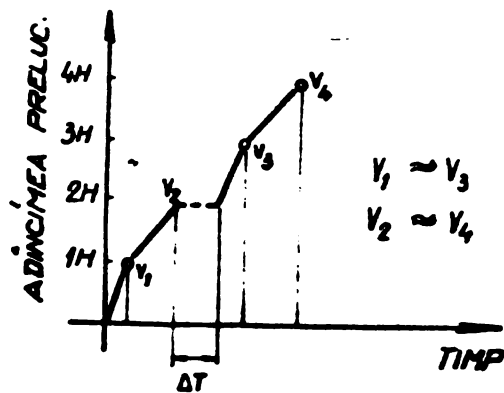


Fig. 8.29.- Variația vitezei de prelucrare la sistemul de avans realizat când sînt incluse retrageri periodice.

ușor prelucrabile (sticlă, ceramică). Funcțiile redete în figurile 8.26., 8.27., 8.28 și 8.29 corespundea în mare măsură pentru materiale ce se prelucerează ușor cu ultrasonete (sticlă, ceramică, ferita, materiale semiconductoare, etc.). În cazul materialelor mai greu prelucrabile (carburi, oțeluri dure) funcția $p = f(T)$ ia o formă particulară perioada de "STOP" prelungindu-se foarte mult în cazul unui p_0 reglat la limita inferioară a domeniului și o viteză mare de avans.

Pentru o prelucrare economică se impune micșorarea la maxim posibil a vitezei de avans și în consecință a lui $\Delta p_{\bar{v}}$ (fig. 8.30) includerea secvențelor de retragere pentru reîmproșănțare și ca urmare a micșorării lui $\Delta p_{\bar{v}}$ apare și posibilitatea plasării lui p_0 spre limita superioară a intervalului optim cu repercursiuni

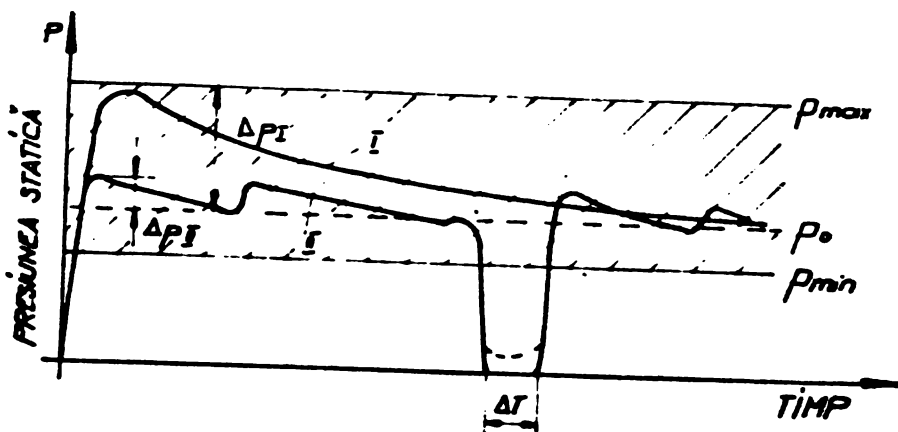


Fig. 8.30.- Funcția generală $p=f(T)$ a sistemului de avans la prelucrarea materialelor greu prelucrabile.

avorabile în dinamica prelucrării ca urmare a creșterii forțelor de impact.

Toate elementele anterior descrise privind caracteristica sistemului de avans intermitent adaptat la mașina ultrasonică realizată (fig. 5.1) sînt încă în curs de cercetare fiind de așteptat să apară și elemente noi imprevizibile pe baza concretizărilor la prelucrarea diferitelor materiale la diferite dimensiuni.

8.4. Premizele introducerii ciclului de lucru automat.

Elemente de protecție a operatorului față de ultrasunete.

Sistemul de avans intermitent (vezi schema cinematică fig. 2.4.) adaptat pentru mașina de prelucrat^{cu} ultrasunete realizată permite un ciclu de lucru comandat manual precum și ciclu de lucru automat. Există cel puțin trei considerente de bază care impun introducerea ciclului de lucru automat:

- în general timpii de prelucrare a materialelor dure și lungile sînt mari. Astfel avantajos din punct de vedere al economicității și deservirii de operator este ciclul de lucru auto-

- sensibilitatea ce se impune sistemului de avans precum reacțiile de dezvoltare a sistemelor de avans

- în cea mai mare măsură la ora actuală mare atenție numita problemă deschisă a protecției operatorului față de ultrasunete. Această problemă a impus în mod nemijlocit prelucrarea cât mai critică a unor rezultate obținute pe experimentări din străinătate precum și a încercărilor proprii. Problema poate să fie foarte delicată datorită unor elemente speculative introduse în literatura de specialitate chiar în ultimii ani.

Având în vedere aspectele particulare pe care le-ar putea avea asupra construcției utilajului problema protecției operatorului autorul redă în continuare câteva încercări în această direcție.

Problema unor eventuale efecte nocive ale ultrasunetelor asupra operatorilor a apărut în mod deosebit odată cu introducerea în tehnică a instalațiilor ultrasonice de mare putere. În legătură cu aceste efecte posibile de la început s-au făcut cercetări intense materializate în numeroase articole publicate, (1), (43), (24), (25), (50), care dacă în primele faze își manifestau incertitudinea în cele de dată mai recentă apare tot mai evident faptul că-n condiții corecte de funcționare aparatele ultrasonice de puteri medii cum sînt mașinile de prelucrat, cele de sudat, instalațiile de curățire și cele tehnologice diverse nu sînt nocive pentru operator. Totuși în rezultatele semnalate în literatura de specialitate mai conțin încă și la ora actuală unele elemente de incertitudine și elemente contradictorii. Cu certitudine s-au localizat doar efecte de mică importanță și mai mult legate de starea subiectivă a operatorului supus acțiunii ultrasunetelor. Totuși problema nu se poate considera pe deplin rezolvată, iar cercetările se continuă în această direcție și la ora actuală. În general problema protecției operatorului la prelucrarea ultrasonică pe baza experienței obținută în țările cu numeroase uzine aparate introduse în industrie ne face să credem că nu se pune cu atîta insistență cu atît mai mult dacă mașinile respective au ciclul de funcționare automat.

Intru cît această direcție nu s-au precizat încă norme speciale de protecție a muncii și cum păreri subiective tind să considere încă ultrasunetele ca un factor potențial nociv, iar pe de altă parte nu am putut dovedi încă cu certitudine un fapt

contrar, există din partea proiectantului obligativitatea de a lua în considerare nemijlocit aceste probleme.

Deși autorul tinde să creadă pe baza literaturii consultate că nu poate să existe la puteri medii și în condiții normale de exploatare factori reali nocivi totuși se impun luarea unor măsuri minime de securitate a muncii cu scop preventiv, având în vedere stadiul cercetărilor în acest domeniu pe de o parte precum și relativ scurta durată de când aceste echipamente ultrasonice s-au introdus în tehnică.

În realitate ultrasunetele exercită un efect nociv evident asupra celulelor vii, microorganismelor și chiar asupra animalelor mici.

Măsurările frecvente asupra nivelului de presiune sonoră la operatorii lucrând cu sistemele ultrasonice au pus în evidență rar valori de 110 - 120 dB. De asemenea în 1950 Crawford semnaleză tulburări a unor lucrători din laboratoarele ultrasonice care sufereau de oboseală, pierderea echilibrului, dureri de cap, persistența și după expunere și ușoară pierdere a audibilității în regiunea spectrului de înaltă frecvență. Deși aceste observații au încercat să fie substanțial verificate ele nu au putut să depășească nivelul unor constatări mai mult subiective. Aceste lucruri se bazează în general pe faptul bizar că efectele nocive înregistrate la animale mici s-au încercat a se transpune omului, deși există o mare diferență în ceea ce privește receptivitatea animalelor mici, mai ales cele cu blândă față de ultrasunete, raportul suprafața corpului/volumul corpului față de situația constatăată la om. S-a constatat (1) că oricum efectele obținute asupra animalelor de laborator mici nu pot fi extrapolate direct asupra omului. Cercetări sistematice au dus înest Grigorieva semnaleză că nu există manifestări semnificative psihologice sau schimbări, ca rezultat al unei expuneri la frecvența de 20kHz la un prag de 110-115 dB.

Figura 8.31 redă efectele psihologice ale ultrasunetelor comparativ asupra animalelor și omului. Cercetările intense raportate de Acton arată în final că organul specific cel mai expus ultrasunetelor este cel auditiv însă datorită frecvenței înalte și datorită domeniului ultrasonic acesta e mai puțin expus la ultrasunete de mare intensitate decât ar fi expus la sunete de intensitate mare dar în domeniul frecvențelor sonore.

Foarte periculoase sînt frecvențele între 4 și 8 kHz.

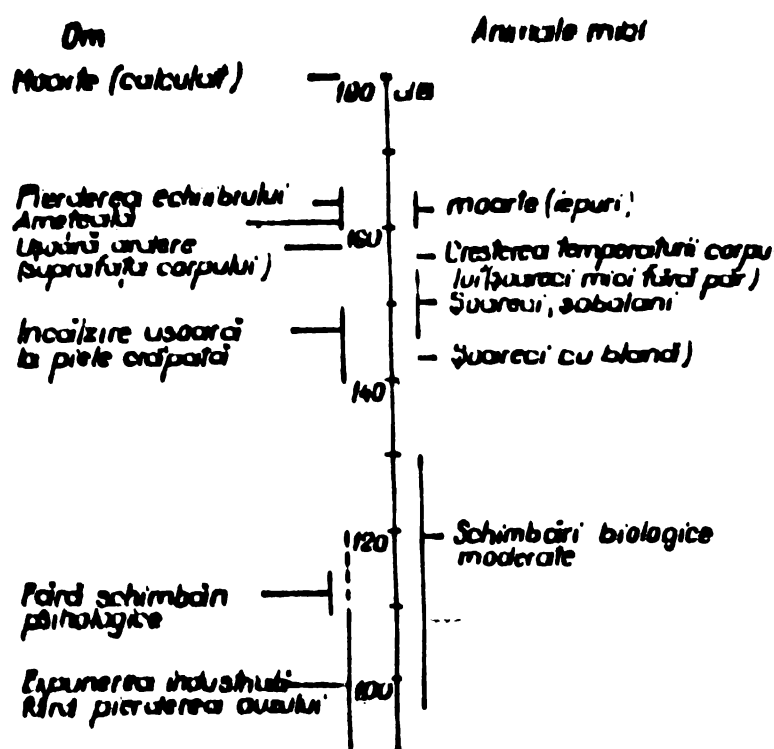


Fig.8.31. Efectele psihologice ale ultrasunetelor (1).

asupra pragului de audibilitate și acestea de multe ori temporare la persoane expuse ultrasunetelor de intensitate mare (20-30 khz cu 148-154 dB SPL) (43).

Numeroase cercetări făcute în rândul personalului ce deservește aeroporturile sau aeronave cu reștie acolo unde se produc pe lângă puternice zgomote cuprinse în spectrul sonor și ultrasunete de mare intensitate nu au pus în evidență efecte mar-cante deși s-a studiat efectul asociat asupra auzului, echilibrului, stării de stress, oboseală. (43).

Cele mai semnificative cercetări sînt însă raportate de Knight prin testarea unui grup selectat de 18 oameni supuși acțiunii directe a ultrasunetelor în condițiile cînd aceștia deserveau echipamente ultrasonice (mașini de spălat, gurit, sudat) timp îndelungat (ani) mai multe ore pe zi (43).

Testul foarte complet la care au fost supuși (de audibilitate, psihic, de echilibru, etc.) a pus în evidență auzul bun al celor testați în ciuda expunerii reștite la ultrasunete constatîndu-se doar că nivelul mediu auditiv este cu circa 5 dB mai redus față de grupul de control. Nu s-au remarcat influențe la nivelul sistemului vestibular iar efectele subiective

Cu toate cercetările ce nu au putut pune în evidență efecte nocive clare asupra omului mai ales asupra pierderii sau reducerii pragului de audibilitate în unele cazuri sau raportat cu și efecte concrete în urma expunerii la ultrasunete efecte subiective în parte cum ar fi oboseală, dureri de cap, grețuri, amețeli, dar acestea n-au putut fi corelate în suficiență măsură cu fiind provocate numai de ultrasunete.

Din ultimele cercetări raportate de Parriek și Knight rezultă că în numeroase situații nu s-au putut pune în evidență decît efecte moderate

(oboseală, dureri de cap) și stărilor de strom în Pont extrem de mici.

De altfel cercetările cu Parruck și Grigorieva au în că nivelul presiunii acustice la echipamentele ultrasonice uzuale este sub 120 dB și nu prezintă nici un pericol pentru operatori. La fel Knight (43) consideră nefondate unele teorii care ulterior n-au putut fi confirmate privind eventualele efecte nocive ale ultrasunetelor.

Po baza unor cercetări mai recente Grigorieva într-un memorandum adresat ministerului sănătății din URSS a propus nivelul de 110 dB în domeniul frecvențelor de la 20 kHz la 100 kHz ca fiind pragul maxim admisibil pentru scopuri industriale.

Certă n-a dovedit o senzație de „plin” („prelume plin”) în urechi, lucru constatat în unele cazuri de experimentare și de noi.

Mai mult se constată că în cadrul unei exonerări industriale, mai periculoase se dovedesc sunetele de înaltă intensitate decât ultrasunetele de înaltă intensitate.

Cu toate acestea tendința de a aprecia în mod subiectiv pe baza unor informații nefondate acest gen de utilaj ca fiind periculos de către persoane neinițiate, ne obligă să luăm în considerare pentru prima etapă faptul că totuși asemenea utilaj ar putea să prezinte un factor de risc.

Autorul consideră că în majoritatea cazurilor există o apreciere subiectivă față de echipamentul industrial ultrasonic. Acest fapt a reieșit și din testările efectuate pe mai multe grupe de studenți din anul III subingineri a căror cunoștințe despre echipamentele ultrasonice sînt în majoritatea cazurilor întîmplătoare.

Altfel prezentînd mașina de prelucrat cu ultrasunete din laboratorul de T.C.M., principiul prelucrării și exemplificînd în mod concret prelucrarea unei piese din oțelă cu diferite scule la întrebarea dacă „ar putea avea instalația prezentată efecte nocive asupra operatorului” 9 studenți au precizat că „da” doar unul singur apreciînd că „nu”.

La aceeași întrebare răspunsurile au fost de 6 cu „nu” și 4 cu „da” în cazul cînd exact aceeași prezentare s-a făcut în fața altei grupe de studenți, dar cînd s-a omis complet din

prezentarea cuvîntului „ultrasunete”. În cazul acesta mașina și modelul prelucrării au fost prezentate pe „baza vibrațiilor” (Tabelul 8.1.). Unui al treilea grup de studenți li s-au prezentat trei instalații și moduri de prelucrare și anume: laser, ultrasunete și electroeroziune. Aprecierea nocivității și ordinii în acest caz este redată în tabelul 8.2., iar la întrebarea „care ar fi organele afectate și în ce fel” s-au primit răspunsurile consemnate în tabelul 8.3.

Tabel 8.1

| | Efectiv nociv posibil | |
|---------------------------|-----------------------|----|
| | DA | NU |
| Instalația cu ultrasunete | 9 | 1 |
| Instalația cu „vibrații” | 4 | 6 |

Tabel 8.3

| Organul afectat și modul | Număr răspunsuri |
|-----------------------------|------------------|
| Organe auditive | 5 |
| Oboseală | 2 |
| Dureri de cap | 1 |
| Inhalare de impurități | 1 |
| Așchii în ochi | 1 |
| Surmenaj | 1 |
| Tensiune în timpul lucrului | 1 |

Tabel 8.2

| Instalații | Ordinea de apreciere a efectelor nocive posibile | | |
|--------------|--|----|-----|
| | I | II | III |
| Ultrasunete | 6 | 3 | 1 |
| Laser | 4 | 5 | 1 |
| Electroeroz. | 0 | 2 | 8 |

Unui ultim grup de 12 studenți li s-au făcut o prezentare mai detaliată cu exemplificări ale funcționării mașinii la diferite regimuri și prelucrări amintindu-se și de aspectele cunoscute ale efectelor ultrasunetelor. În acest caz (deci o informare mai completă și mai reală) răspunsurile la întrebarea „Care un eventual efect nociv al ultrasunetelor asupra operației au fost de 4 în favoarea lui „da” și 8 în favoarea lui „nu”.

Dună cum ușor reiese din rezultatele acestor teste care nu pot să aibă decât un caracter informativ se constată o reacție mai mult subiectivă față de problema necesității protecției împotriva ultrasunetelor.

Se constată în timpul lucrului la mașina de prelucrat cu ultrasunete zgomotul (țiuitul) uneori destul de supărător, o componentă subarmonică de frecvență joasă generată de ansamblul ultrasonic. Pentru atenuare se recomandă utilizarea antifoanelor sau a tampoanelor simple de vată care după cum se vede au o eficiență destul de bună pentru această componentă.

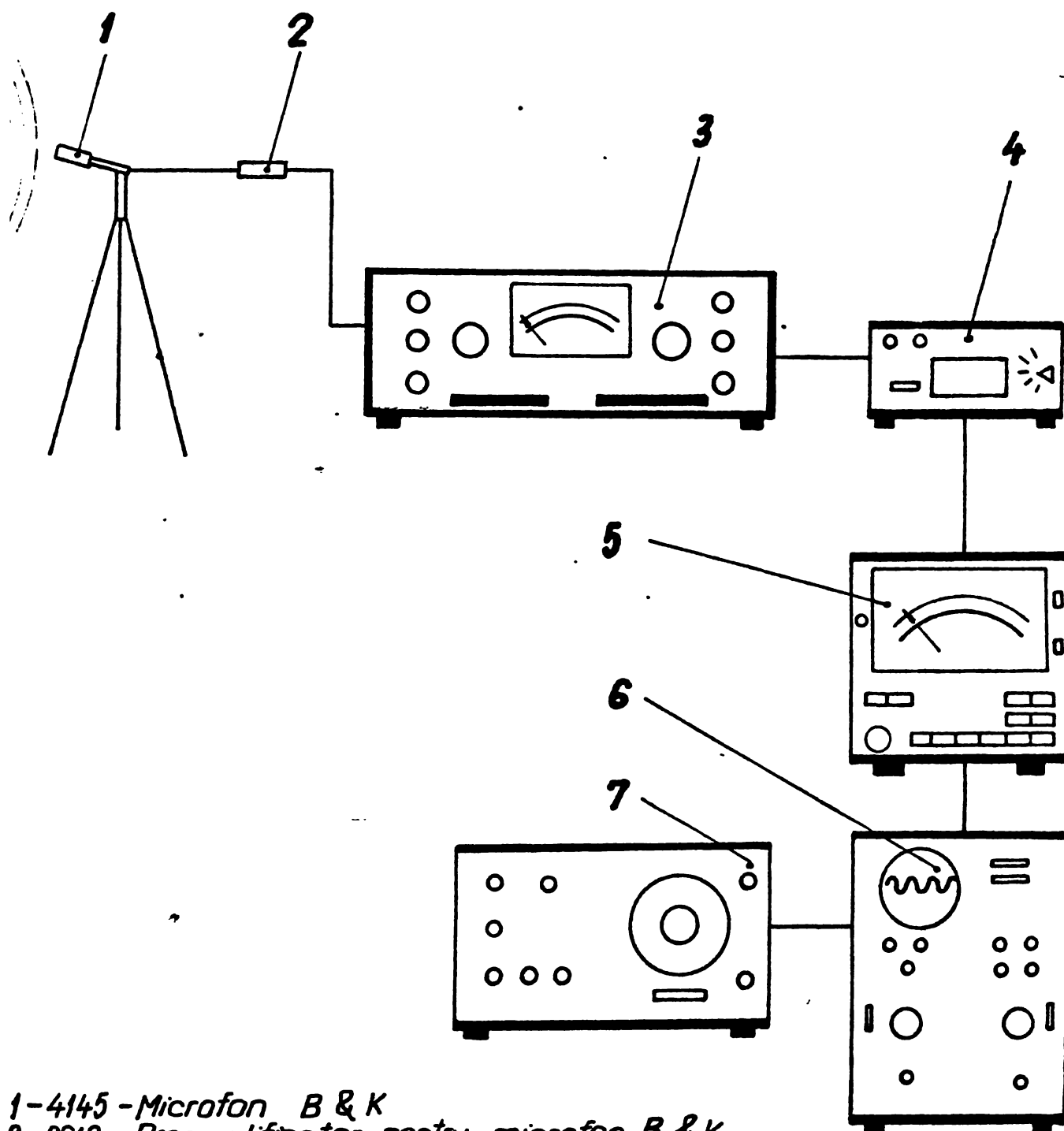
Se apreciază că la mașinile-unelte moderne de mare productivitate introducerea ciclului de lucru automat poate să ducă alături de clasicele paravane, la o protecție suplimentară a operatorului (78).

Asupra modelului experimental de mașină de prelucrat cu ultrasunete s-au făcut determinări ale nivelului de presiune acustică a zgomotului în poziția caracteristică operatorului. S-a utilizat un montaj pe bază de aparatură Brüel & Kjaer redat în figura 8.32 în care microfonul a fost plasat la 1 m de capul ultrasonic al mașinii în dreptul panoului de comandă. Incercările au avut în vedere determinarea nivelului global al presiunii acustice a zgomotului caracteristic instalației ultrasonice și apoi determinarea orientativă a spectrului caracteristic.

Astfel în cazul mersului în gol (funcționează numai generatorul) nivelul global constatat a fost de 73 dB. În cazul comutării blocului ultrasonic pe frecvența de rezonanță și funcționarea acestuia fără prelucrare s-au constatat oscilații a nivelului de presiune acustică între 85 și 93 dB adică deja un prag considerat neacceptabil.

Introducerea unui paravan de plexiglas de 0,5 m² și 4 m înălțime a determinat o atenuare a nivelului de presiune acustică la nivelul de 77 dB. Acest lucru indică cu claritate necesitatea unor măsuri apăsătoare a ciclului de lucru automat și a paravanelor de protecție la locul prelucrării.

În cazul prelucrării efective a unei piese s-a constatat un nivel de presiune acustică de 83dB (deci o ușoară depășire a nivelului de 80dB/la 20 KHz conform curbei de zgomot Cz85) iar introducerea paravanului a determinat o atenuare la 75dB.



- 1-4145 - Microfon B & K
 2-2619 - Preamplificator pentru microfon B & K
 3-2606 - Amplificator de măsură B & K
 4-DF 101 - Filtru de octavă RFT
 5-2425 - Voltmetru electronic B & K
 6-E 0101 - Osciloscop IEMI
 7-GF 22 - Generator de frecvență 2 Hz - 20 kHz

Fig. 8.32 - Montajul pentru determinarea nivelului presiunii acustice.

8.5. Comunerea, funcționarea și comanda sistemului de avans realizat.

Sistemul pentru realizarea mișcărilor de avans prezentat în schema cinematică din figura 5.4. este format din:

- mecanismul de avans rapid MAR care realizează apropierea și retragerea rapidă a subansamblului mecanismului de avans MA al mesei mașinii.

- mecanismul de avans (de lucru) MA care realizează avansul de lucru și retragerea rapidă a mesei mașinii.

Sistemul pentru realizarea mișcărilor de avans permite posibilitatea realizării unui ciclu de lucru comandat manual și a unui ciclu de lucru automat.

Mecanismul de avans rapid MAR

Se compune dintr-un motor electric M, (asincron de curent alternativ cu puterea de 250 w la o rotație de 960 rot/min), care prin intermediul unei transmisii cu curele ^{avind} ca raport de transmitere $i = 3$ rotește șurubul conducător central, care este cuplat cinematic prin intermediul unei piulițe de suportul mecanismului de avans MA al mesei mașinii. Suportul se deplasează pe ghidaje în coudă de rîndunică fixate pe cadrul sudat al mașinii, deplasarea lui fiind limitată de microîntrerupătoare de cale (vezi schemă electrică) LC_3 și LC_4 .

Mecanismul de avans MA al mesei mașinii.

Se compune (figura 5.4 - schema structurală) din masa mașinii M_m din aliaj de Al-Cu prevăzută cu canale în T și orificiu de scurgere a suspensiei abrazive. Masa mașinii este susținută de un cilindru de ghidare care rulează pe bile în cilindrul atașat suportului mecanismului de avans. În interiorul acestui cilindru se poate plasa un mecanism de avans în contratimp MAC sau un mecanism de rotație a mesei mașinii MEMA.

Cilindrul se sprijină printr-un amortizor de cauciuc pe elementul traductor „t” un dinamometru interschimbabil tip furcă calculat și dimensionat pentru clasa 20 de precizie. ($P_{max} = 50$ kgf). Mărimea senizată a deformației dinamometrului este transmisă la un comparator cu fotodiodă CP, care comandă cuplarea sau decuplarea cuplajului electromagnetic CEM încorporat în reductorul moale RM. Mișcarea de rotație este primită de reductorul

molecat prin intermediul unui set de roți de schimb RS acționate de un motor de curent continuu M cu puterea de cea 80 W și turație reglabilă în limitele 800-4000 rot/min.

De la reductorul molecat RM cu raportul de transmitere $i = 100$ mișcarea de rotație este transmisă unui variator frontal cu role având gama de variație a turației $G = 6$. (brevetat de autor)

De la variator prin intermediul unui mecanism de transformare a mișcării de rotație în mișcare rectilinie MT cu pasul $p=2$ se obține mișcarea de avans transmisă apoi prin elementul traductor „t” mesei mașinii Mm. Pentru a avea un ciclu de lucru cu un avans cu o frecvență a secvențelor cât mai redusă trebuie făcut inițial reglajul presiunii de lucru la comparatorul cu fotodiodă CF și reglajul vitezei la variator V și circuitul de excitație al indusului motorului M. Viteza optimă a avansului coincide cu însăși viteza de prelucrare a materialului, când comenzile comparatorului cu celulă CF tind să fie anulate sau mișcarea de avans devine continuă. În cazul prelucrărilor uzuale aceasta este însă o situație ideală greu de atins din cauza vitezelor relativ mici de prelucrare și ca atare sistemul de avans va lucra într-un regim de avans intermitent. Sistemul este prevăzut cu elemente pentru realizarea retragerilor periodice a sculei.

Comparatorul cu fotodiodă

Mișcarea de avans la mașina de prelucrat prin ultrasunete MPU-1 este realizată de masa mașinii având o caracteristică „secvențială”, adică avans intermitent după ciclul figurat în schema electrică. Prelucrarea se realizează în condițiile în care pentru un anumit material și o anumită suprafață a sculei se fixează o valoare maximă a presiunii de contact cuprinsă bineînțeles între limitele admise de $0,5-4 \text{ daN/cm}^2$. Pentru acest tip de sistem de avans aceasta înseamnă că la atingerea valorii maxime prestabilite a presiunii de contact avansul mesei este oprit și menținut în stare oprită continuându-se prelucrarea pînă cînd presiunea de contact scade din nou sub valoarea maximă prestabilită permițîndu-se reluarea mișcării de avans. Prestabilirea presiunii maxime de contact se face cu ajutorul sistemului de reglare a poziției comparatorului cu fotodiodă față de elementul traductor (dinamometrul furcă). Prin această reglare se asigură o cursă mai mare sau mai mică a acului indicator al comparatorului cînd în dreptul fotodiodei cea ce corespunde respectiv unei presiuni de contact mai

mult mai mult mai mult ca depinde de forța în vârtice axonului și vibrații de rezonanță. Cum funcționează producerea de puncte prin puncte diferite mărimi ale suprafețelor de contact mărima care se reglează pe comparatorul cu fotodiodă este cea a forței statice ca rezultat al produsului, $p \times S = P$.

O secțiune și o vedere prin mecanismul de avans sînt prezentate în figura 8.33 respectiv 8.34.

Schema electrică cuprinde cîteva părți distincte și este redată în figura 8.35

- conexiunea vibratorului magnetotriectiv la generator;
- releul fotoelectric;
- redresorul;
- comanda sistemului pentru mișcarea de avans și circulația sîmpenței abrazive.

Releul fotoelectric. Se compune dintr-un releu polarizat Rp conectat în circuitul de colector al tranzistorului T_2 care este polarizat prin divizorul format din tranzistorul T_1 și rezistența R_1 . În rîndul său tranzistorul T_1 este polarizat prin intermediul fotodiodei DF 1 care în lipsă de semnal luminos are o rezistență internă foarte mare. Ca urmare tranzistorii T_1 și T_2 vor fi aproape blocați astfel că releul Rp rămîne în repaus. De îndată ce fotodioda va fi iluminată, baza tranzistorului T_1 se va polariza negativ, care urmare prin tranzistor va circula un curent care trecînd prin joncțiunea B - E a tranzistorului T_2 face ca să treacă prin acesta un curent de colector suficient de mare pentru ca releul polarizat să fie acționat. Dioda D_2 servește pentru protejarea tranzistorului T_2 împotriva supratensiunilor care apar pe înfășurarea releului în momentul deconectării circuitului.

Redresorul. Pentru alimentarea motorului de curent continuu M al servomecanismului de avans, a cuplajului electromagnetic CM, a circuitelor de comandă și a releului fotoelectric, s-a realizat un redresor în punte. Secundarul transformatorului de rețea, prevăzut cu priză mediană, a fost dimensionat astfel ca redresorul să asigure tensiunile: 48 v, 24 v, și 6 v prin reglarea corespunzătoare a rezistenței R_3 .

Conexiunea vibratorului magnetotriectiv la generator.

Conexiunea vibratorului magnetotriectiv la generator presupune utilizarea unui singur bobinaj atât pentru excitație cît și pentru magnetizare.

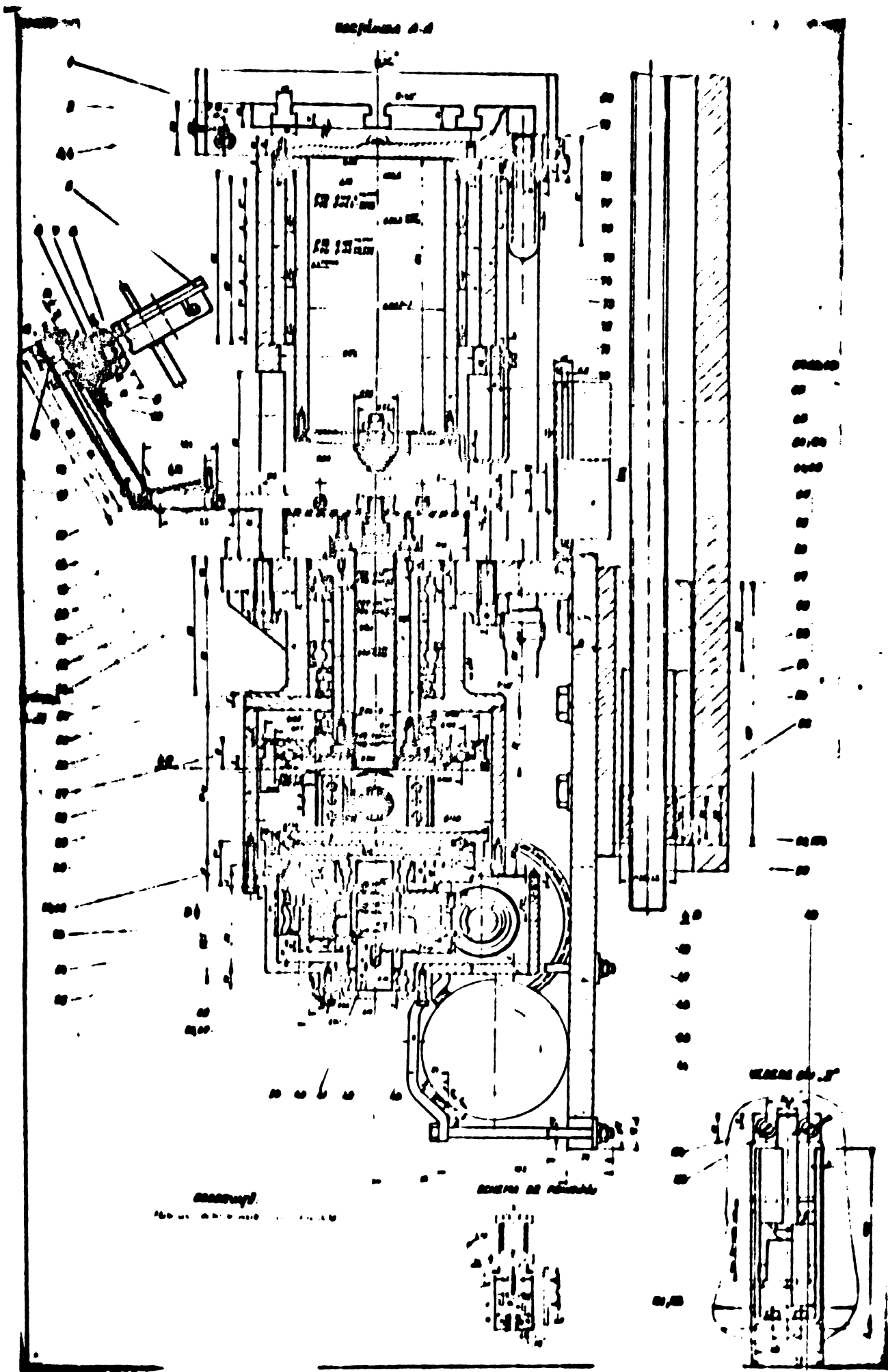


Fig.8.33-Sectione prin mecanismul de avans

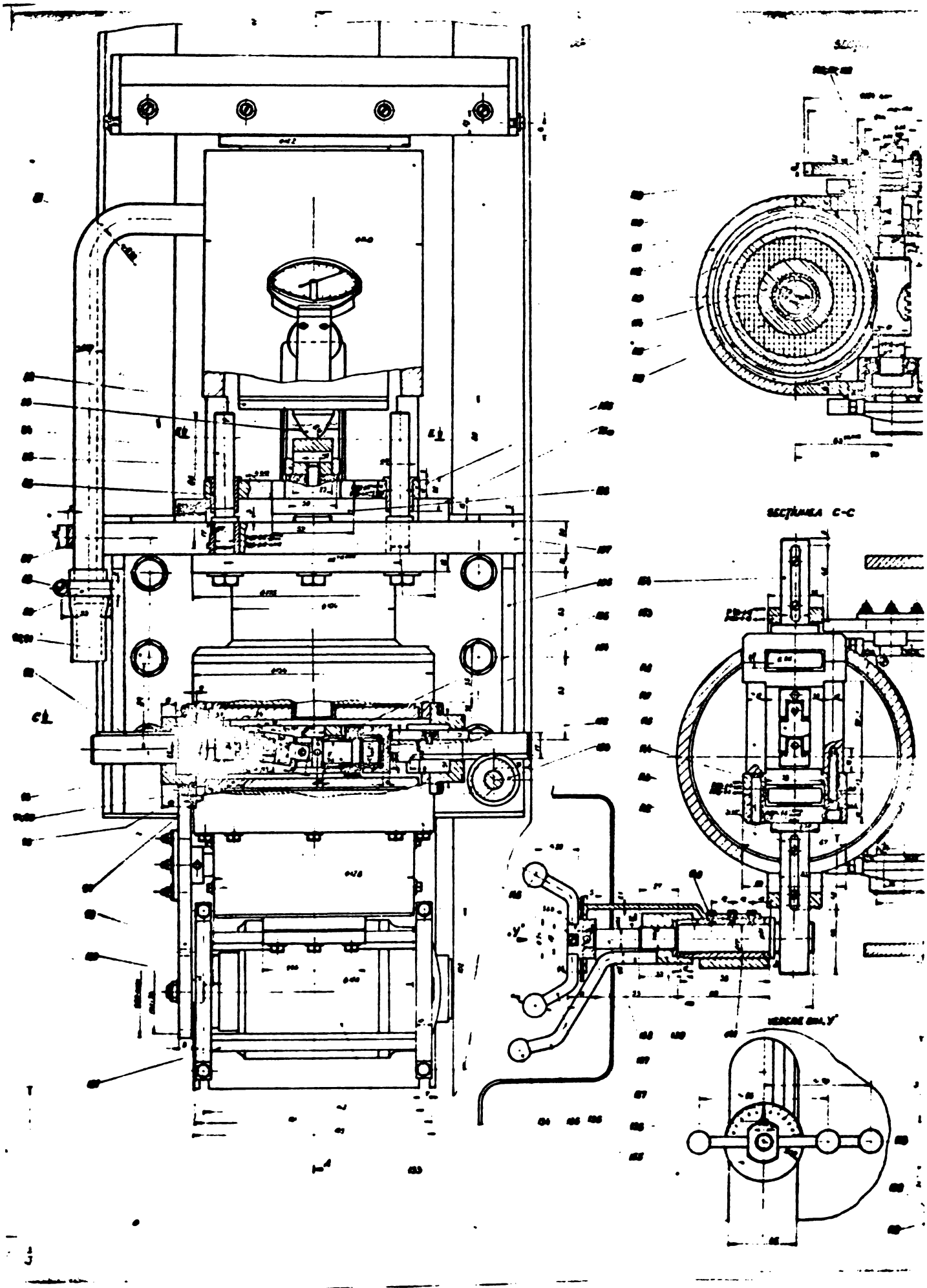


Fig. 8.34 - Vedere generală a mecanismului de avans și secțiuni parțiale prin variator și reductor.

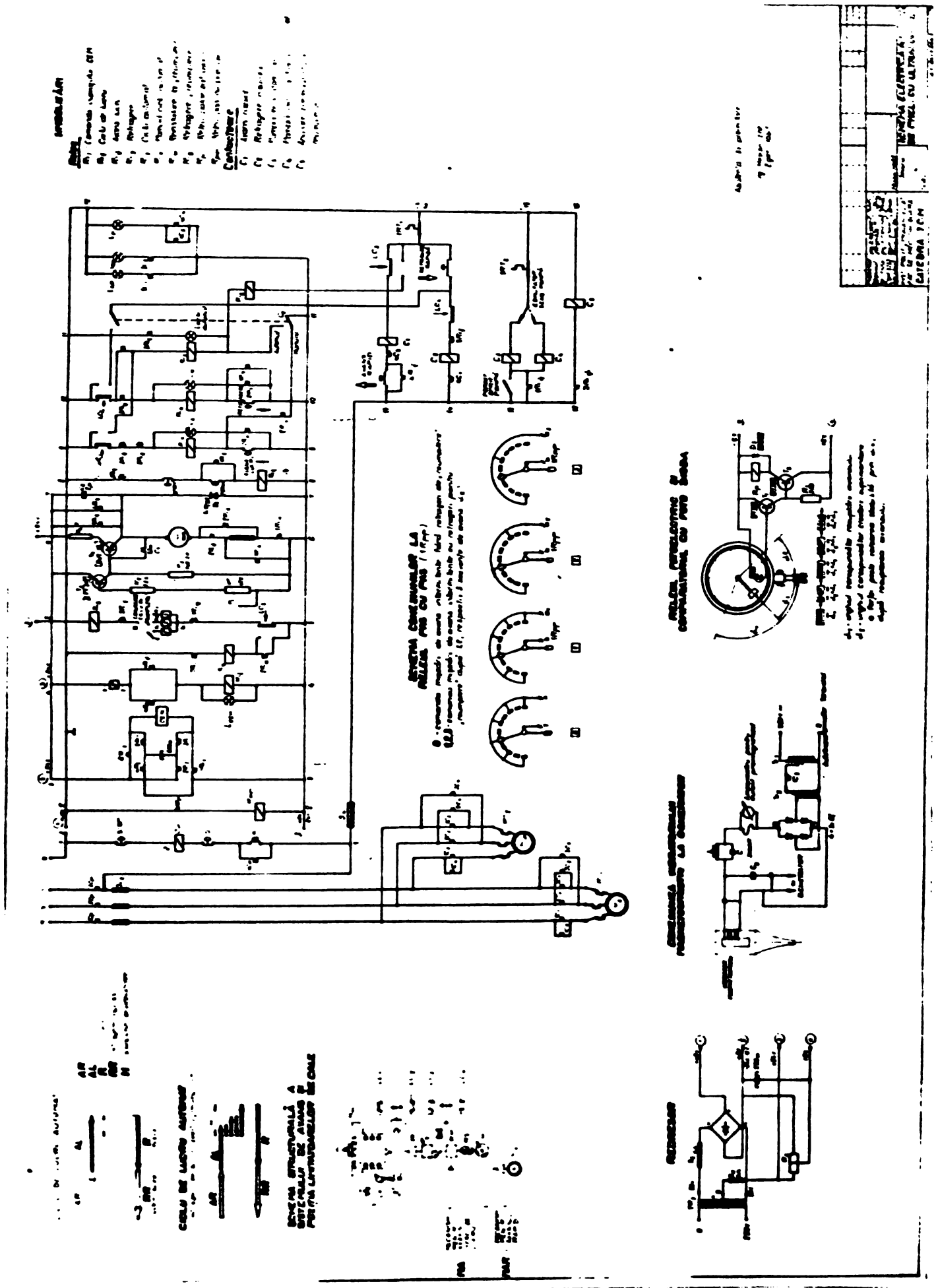


Fig. 8.35 - Schema electrică a mașinii de prelucrat cu ultrasunete

Circuitul de premagnetizare se compune dintr-un autotransforma-
tor T_1 , transformatorul T_2 și puntea redresoare 4 x Si de la
care pleacă circuitul bobinei de excitație și premagnetizare a
vibratorului magnetostrictiv.

În circuitul de premagnetizare există montat un amper-
metru cu șunt și un filtru oprește banda (o inductanță L și o
capacitate C în circuitul sursei de curent continuu) pentru evi-
tarea pierderilor mari de curent de excitație în circuitul re-
dresorului de premagnetizare. În paralel cu circuitul de premag-
netizare se află un condensator separator C_2 , care protejează
ieșirea generatorului împotriva pătrunderii curentului continuu
de premagnetizare.

Filtrul oprește banda este conectat în paralel cu bobina-
jul vibratorului magnetostrictiv și constituie un sistem oscilant
cuplat electric cu acesta.

Circuite de comandă pentru mișcarea de avans și circu- lație a suspensiei abrazive.

Pentru realizarea prelucrării, după instalarea piesei de
masă se reglează valoarea forței de avans respectiv a presiunii
de lucru care se recomandă în limitele $0,5-4 \text{ daN/cm}^2$, doar la
orificii sub 2 mm diametru admitându-se creșteri până la 10 daN/
 cm^2 . Cunoșcând caracteristica forță - deformare a dinamometrului
interschimbabil tip furcă „t” se reglează poziția comparatorului
cu fotodiodă CF astfel încât contactul palpatorului acestuia cu
dinamometrul să asigure poziția dorită a acului indicator față
de fotodiode DF_1 , adică unghiul α corespunzător forței de avans
necesare respectiv presiunii de lucru stabilite, (pentru elemen-
tul traductor „t” montat pe mașină 1 div. comparator $0,020 \text{ kgf}$
forță statică).

După stabilirea forței de avans se stabilește modul de
alimentare cu suspensie abrazivă, după care se pornește gene-
ratorul de ultrasunete.

Se apreciază necesară la fiecare pornire o durată de
circa 15 minute pentru încălzire după care se va trece la sta-
bilirea regimului optim de excitație prin reglajul curentului
de premagnetizare și nivelului de putere.

Acest reglaj se face cu ajutorul autotransformatorului

reglabil ținând cont că valoarea optimă a curentului de premagnetizare este cuprinsă între 8 și 10 A, (se citește pe scara ampermetrului), iar pentru nivelul de putere se urmărește indicația curentului anodic la etajul final al generatorului. Acordul pe frecvența de rezonanță a sistemului vibrator-concentrator-sculă se face de la butonul de acord controlul făcându-se prin palparea sculei și cu ajutorul traductorului inductiv special construit pentru măsurarea amplitudinii de vibrație.

Circuitele de comandă pentru mișcarea de avans și circulație a suspensiei abrazive, se pun sub tensiune cu ajutorul butonului de pornire B din circuitul 1-1 care pune sub tensiune contactorul Cp și deci se comandă închiderea contactelor normale deschise 1 Cp, 2 Cp, 3 Cp și a contactului 4 Cp de automenținere. În circuitul 1-1 mai sînt prevăzute și un buton pentru oprire O precum și butonul de stop general STOP.

Mașina fiind astfel pregătită pentru începerea unui ciclu de lucru se decide în continuare dacă se va lucra cu ciclu de lucru comandat manual sau ciclu de lucru automat.

Felul ciclului de lucru se stabilește cu ajutorul comutatorului de ciclu Cc din circuitul 11-11.

În cazul ciclului de lucru comandat manual avansul rapid și retragerea rapidă are loc atîta timp cît este apăsat butonul corespunzător adică "AVANS RAPID" și "RETRAGERE RAPIDĂ", la fel pentru avansul de lucru și retragere prin butonul "AVANS DE LUCRU" și "RETRAGERE".

În cazul avansului de lucru există însă și posibilitatea realizării lui prin pornire la butonul "PORNIT" din circuitul 8-8 și apoi automenținerea lui prin intermediul contactului normal deschis 2R₁₁₁. Întreruperea lui se poate realiza de la butonul "OPRIT" din circuitul 8-8 sau la terminarea cursei de lucru prin limitatorul de cale LC₁.

Semnalizarea fazelor ciclului de lucru este realizată de lămpile LA (avans de lucru), L_R (retragere), L ciclu automat, L_{AR} (avans rapid), L_{RR} (retragere rapidă), din circuitele corespunzătoare.

Pentru alimentarea suspensiei abrazive este necesară o comandă separată prin întrerupătorul basculant "PORNIT-OPRIT" și în funcție de felul prelucrării se stabilește sensul de

lucru a pompei (pentru refulare, stropire sau absorbție) cu ajutorul întrerupătorului basculant "COMUTATOR SENS POMPA" din același circuit 15-15.

Terminarea avansului de lucru este comandată de limitatorul de cale LC_1 din circuitul 9-9, terminarea retragerii de limitatorul LC_2 din circuitul 10-10, terminarea avansului rapid de limitatorul LC_3 din circuitul 13-13 și terminarea retragerii rapide de limitatorul LC_4 din circuitul 14-14.

În timpul prelucrării dimensionale a piesei, după poziționarea sistemului, realizarea contactului sculei cu piesa și asigurarea condițiilor de prelucrare (vibrarea sculei, suspensie abrazivă) sistemul de avans realizează avansul de lucru prin intermediul servomecanismului acționat de motorul M atâta timp pînă cînd se depășește limita admisă a presiunii de contact adică pînă cînd scul compresorului obturează fotodiada DF_1 .

Acest avans de lucru e posibil pentru că releul polarizat R_p fiind acționat închide contactul normal deschis $1R_p$ din circuitul 2-2 menținînd astfel sub tensiune releul pas cu pas (markurul) R_{pp} .

Acesta prin contactele lui din circuitul 4-4 conform schemei de conexiune asigură punerea sub tensiune a releului intermediar R_{i1} care prin contactele lui din circuitul 3-3 realizează menținerea sub tensiune a cuplajului electromagnetic CEM și deci menținerea avansului de lucru. Viteza avansului de lucru este reglabilă după necesități cu ajutorul montajului din circuitul 6-6. Reglarea vitezei de avans se face cu ajutorul tranzistorului T_4 . Comanda se face manual cu ajutorul potențiometrului P_1 care reglează polarizarea tranzistorului T_4 prin intermediul tranzistorului T_3 . Protecția tranzistorului T_4 la supratensiuni este asigurată de dioda D_1 și condensatoarele C_1 și C_2 .

La atingerea limitei stabilite pentru presiunea de contact scul compresorului obturează fotodiada DF_1 , relelele R_p , R_{pp} , R_{i1} nu mai sînt sub tensiune și ca urmare armătura electromagnetului CEM cade și deci motorul M antrenează în gol.

Între timp la relele R_{pp} s-au schimbet pozițiile contactelor cu un pas. Cît timp valoarea presiunii de contact e depășită motorul M va antrena în gol pînă cînd datorită prelucrării materialului presiunea scade scul compresorului se deplasează în sens invers și obturează din nou fotodiada DF_1 (aceasta fusese

deoșgită datorită inerției sistemului mecanic) provocând un nou "pas" la contactele releului R_{pp} și pregătind o nouă poziție de avans pentru momentul când acul comparatorului în curs de revenire eliberează fotodiada DF_1 .

Se reinia din nou avansul de lucru și se repetă fazele anterior descrise.

Aceasta este situația corespunzătoare poziției 0 în "COMUTATOR CICLU REUMPLERE" adică doar contactele de pe un rând al markerului sînt active corespund unui ciclu de prelucrare fără retrageri intermitente a sculei.

În cazul prelucrărilor mai dificile, la adîncimi mari unde este necesară reîmprospătarea periodică a locului prelucrării cu suspensie abrazivă ce prevede susținerea acestor avansuri de lucru a unor retrageri intermitente comandate de acul comparatorului.

Astfel pozițiile 1, 2 și 3 în "COMUTATOR CICLU REUMPLERE" corespund unor retrageri ale sculei pînă la poziția fixată de LC_5 , în urma unei singure, a două respectiv trei oscilații a intervalului de prelucrare (faze) de către acul comparatorului.

În aceste situații pe lîngă rîndul de contacte al releului R_{pp} corespunzătoare poziției marcate 0 se mai intercalează succesiv rîndurile de contacte corespunzătoare pozițiilor 1, 2 sau 3 ceea ce pune sub tensiune releul R_{1g} (mai rapid decît R_{1r} , altfel ar duce la instabilitate) din circuitul 5-5.

Rezultă că astfel corespunzător situației dorite de retragere (1, 2 sau 3) se realizează retragera periodică a sculei din orificiul prelucrat (de fapt are loc retragera metal) pînă la limitatorul de cale LC_5 fixat astfel ca scula să fie deosebit de aproape de piesă la cota dorită pentru a permite recularea la atingerea lui LC_5 se pune sub tensiune releul R_{1r} care scoate de sub tensiune releul R_{1g} permițînd din nou avansul de lucru pentru reluarea prelucrării.

Pentru a evita pulverizarea suspensiei de sub sculă introduce, la reculare sub acțiunea vibrațiilor interne prin contactul, normal deschis R_{1r} din circuitul 16-16 se pune sub tensiune contactorul C_5 care comandă deschiderea contactului normal închis LC_5 din secundarul autotransformatorului T_1 și deci anularea curenților de remagnetizare pînă la realizarea unui nou contact cu piesa (ne deschide R_{1r} și cade R_{1r} deci și C_5).

În cazul cicluului de lucru automat care se stabilește cu comutatorul de ciclu de funcționare mașinii sînt realizate în ordinea: apropiere rapidă pînă la LC_3 , avans de lucru în

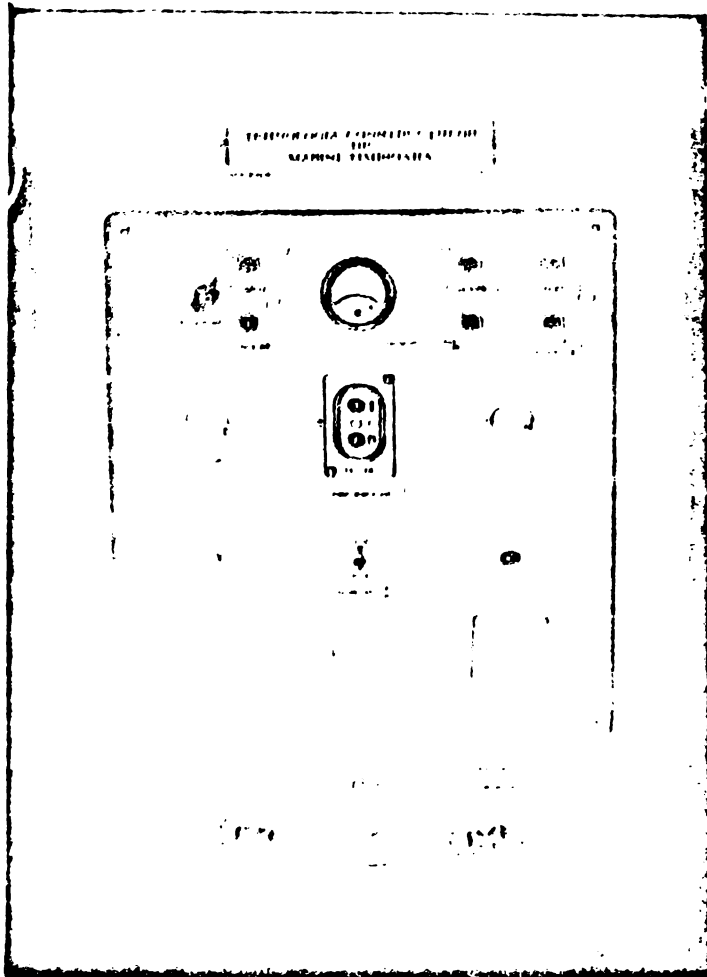


Fig. 8.36 - Panoul de comandă al mașinii ultrasonice.

panoul central al mașinii cu elementele de comandă a ciclurilor de lucru.

prelucrare simultan cu pornirea automată a pompei (datorită releului R_{IVI} și contactului *normal* deschis 1 R_{IVI} din circuitul 15-15) pînă la LC_1 , retragere pînă la LC_2 , urmată de oprirea pompei, retragere rapidă pînă la LC_4 . Și la ciclu automat se poate suprapune retragerea intermitentă a releului pentru reîmproșă-tare.

În cazul cicluului de lucru automat esențială este fixarea corectă a poziției microlimitatoarelor de cele LC_1 , LC_2 , LC_3 , LC_4 și LC_5 .

În figura 8.36 se prezintă vederea frontală de pe pa-

8.6. Corectări privind variante constructive pentru sistemele de avans.

De lîngă studiul și experimentarea sistemului de avans intermitent realizat pe mașina ultrasonice autorul dezvoltînd împreună cu colectivul de colaboratori câteva idei noi și ca urmare a necesității de a compara diferite variante constructive a elaborat soluțiile de principiu a două variante de sisteme de avans pentru mașini cu ciclu de lucru automat și o mașină de prelucrat cu două posturi pentru oțel de dimensiuni mici. Corectările privind experimentarea acestor soluții și realizarea lor sînt în curs de desfășurare. Acționa se referă la:

- mecanism de avans pentru aspirat de prelucrat cu ultrasunete. Dosar OSM 74910/26.05.1973 (hotărâre de brevetare din 01.02.1975). Schema cinematică a mecanismului este redată în figura 8.37

- mecanism de avans cu autoreglare pentru mașini de prelucrat cu ultrasunete. Dosar OSM 73999/28.02.1973 (hotărâre de brevetare din 01.02.1975). Schema electrică pentru comanda mecanismului este redată în figura 8.38 iar montajul experimental pe baza acestei scheme în figura 8.39 și 8.40

În principal cele două tipuri de mecanisme de avans intră în următoarele avantaje tehnico-economice:

- asigură o viteză de avans optimă prelucrării de ultrasunete pentru diferite materiale în diferite dimensiuni.
- asigură o sensibilitate ridicată la prelucrări diferite.
- asigură productivitatea ridicată a prelucrării.
- prin autoreglare se ține cont de modificările ce apar în anod în timpul de lucru.
- permite realizarea comodă a variațiilor vitezei de avans în timpul lucrului

O altă soluție de principiu brevetată se referă la:

- mașină de prelucrat cu ultrasunete. Dosar OSM 74371/31.05.1973 (hotărâre de brevetare din 01.02.1975). Mașina este romoară prin următoarele avantaje:

- poate face prelucrarea simultană a unor piese din materiale diferite datorită celor două posturi de lucru.

- sistemul de avans utilizează prezintă o soluție constructivă simplă păstrând sensibilitatea în prelucrare și posibilitatea reglării comode.

- greutatea celor două posturi de prelucrat nu influențează direct sensibilitatea mecanismului de avans.

- se pot face comod comutările ale sistemului de alimentare cu suspensie abrazivă pentru cele 2 posturi.

Schema cinematică este redată în figura 8.41 iar montajul experimental în figura 8.42

În final se prezintă o realizare cu posibilități de aplicare de colțare în industria constructoare de mașini de prelucrare de acționări mecanice și sunt:

- variator frontal cu roți intermediare. Dosar OSM 7020/2.05.1972 (hotărâre de brevetare 10.11.1974).

De remarcat că acest tip de variator a fost realizat practic integral el funcționând în bune condițiuni de aproape 3 ani în construcția mașinii de prelucrat cu ultrasunete. Se remarcă prin construcție compactă, arbori coaxiali, randament bun.

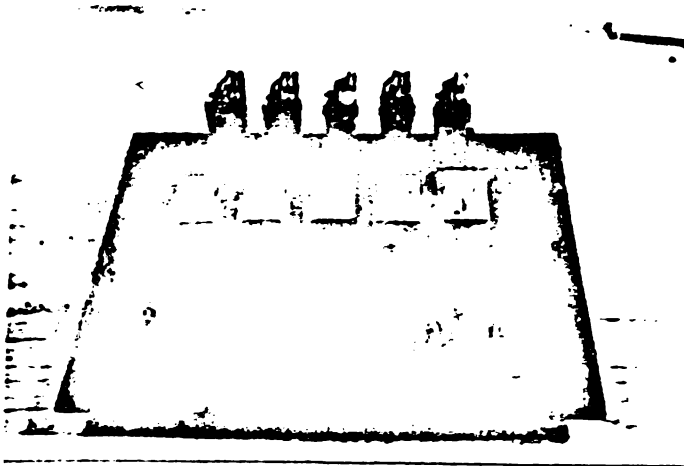


Fig. 8.39 Partea electrică a montajului experimental pentru sistemul de avans cu autoreglare.

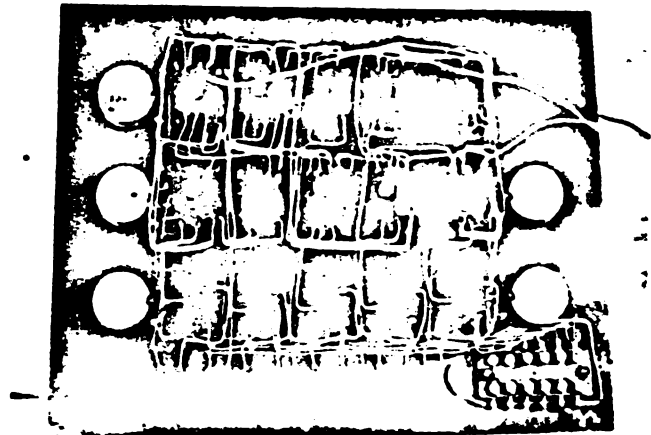


Fig. 8.40 Partea electrică a montajului experimental pentru sistemul de avans cu autoreglare.

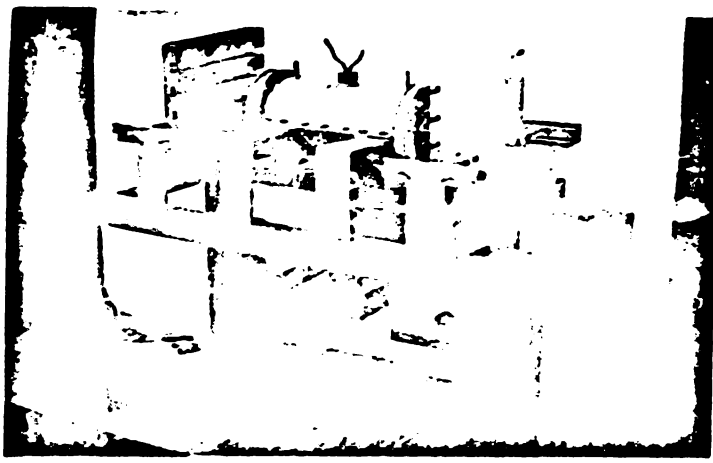


Fig. 8.42 Stand experimental pentru mașină de prelucrat cu 2 posturi.

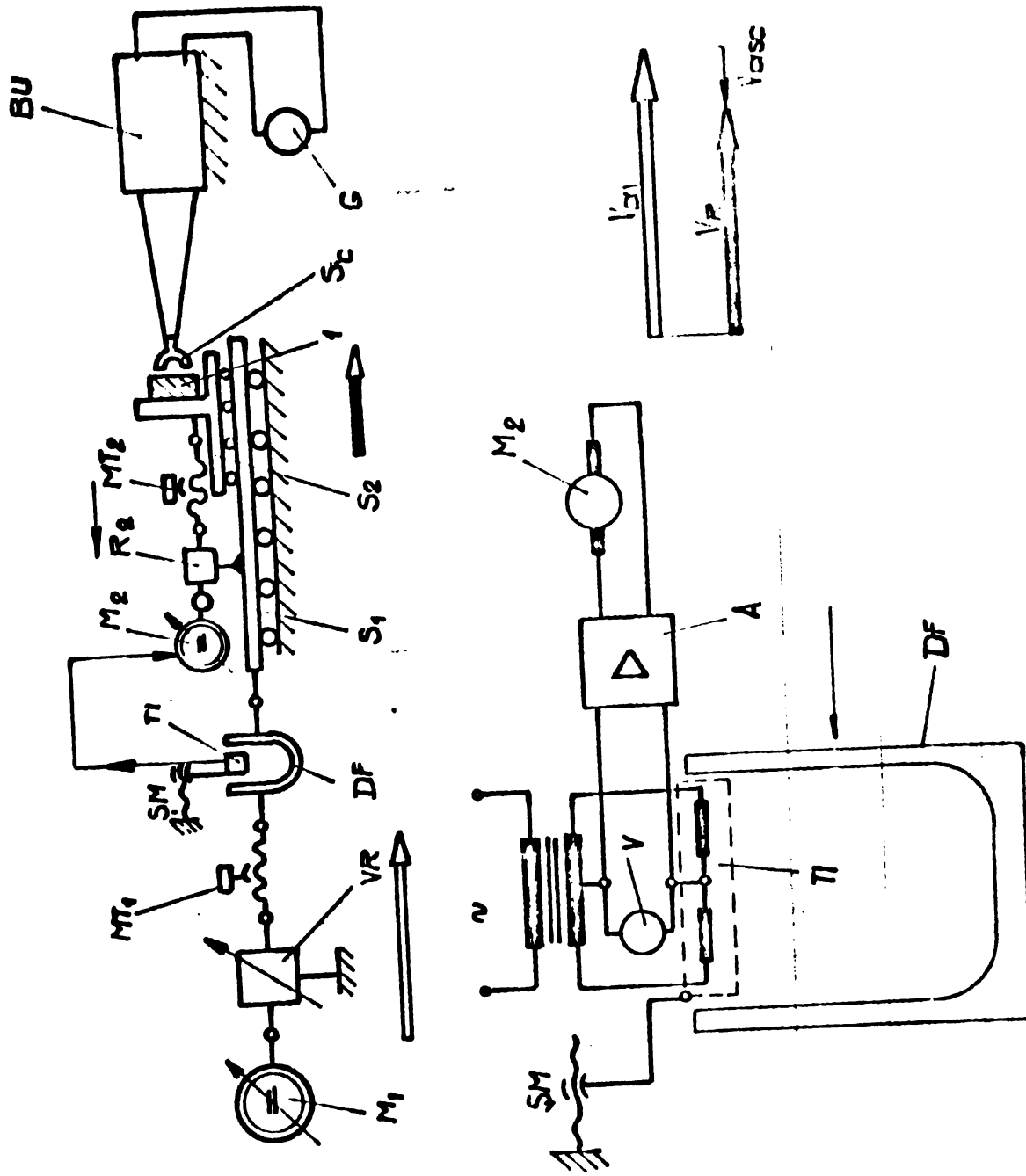


Fig. B.37. - Schema sistemului de avans pentru mașini ultrasonice orizontale

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

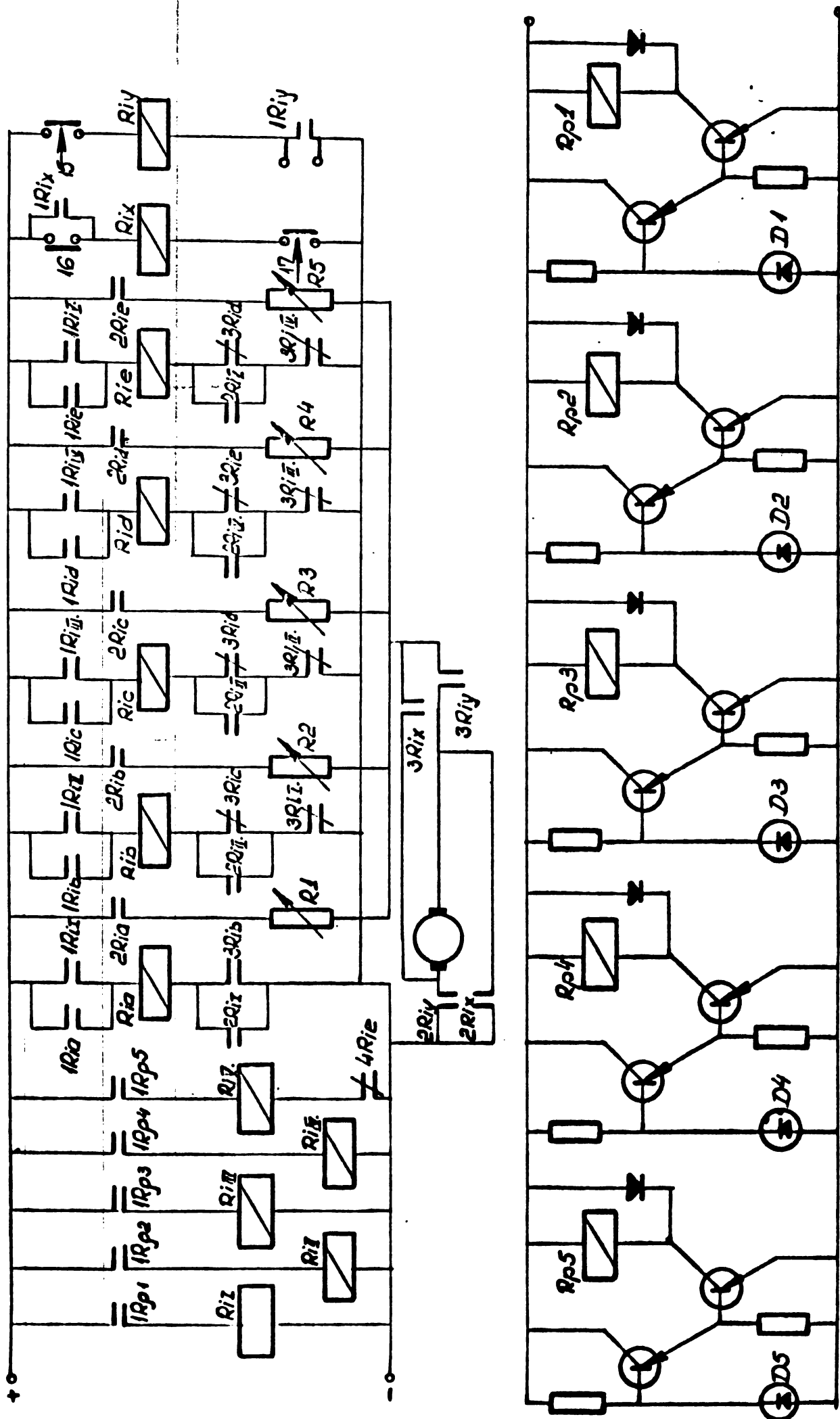


Fig. 8.38. - Schema electrică a sistemului de avans cu autoreglare.

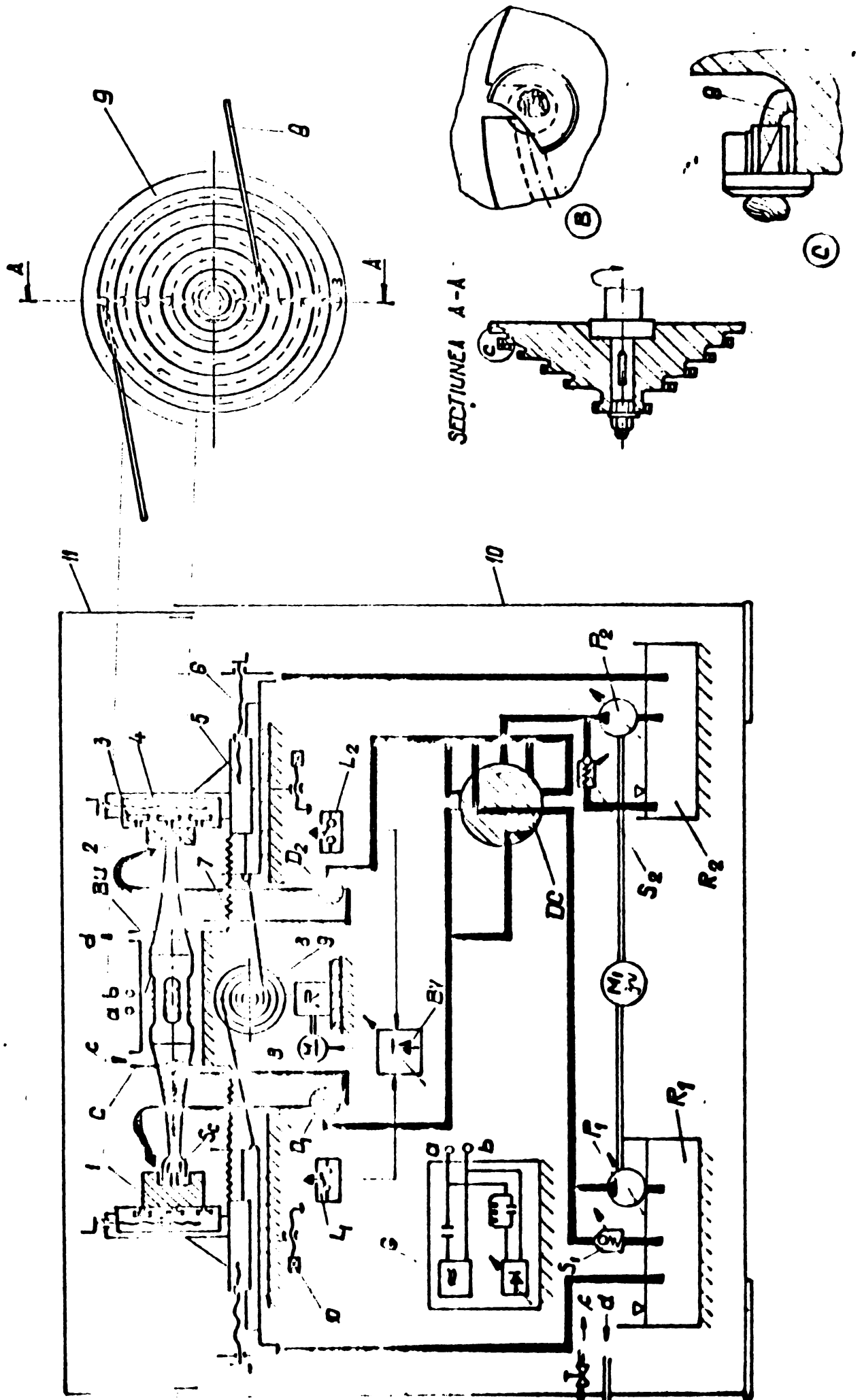


Fig. 8.41. - Schema cinematică a mașinii ultrasonice cu 2 posturi

9. SISTEMUL DE ALIMENTARE CU SUSPENSIILE

ABRAZIVA (SASA)

9.1. Condiții funcționale de bază și tipuri constructive.

Alimentarea cu suspensie abrazivă, deci agent eroziv în cazul prelucrării clasice și cu lichid de răcire în cazul prelucrării cu scule diamantate este asigurată de un sistem înglobat în majoritatea cazurilor în construcția propriuzică a mașinilor ultrasonice și foarte rar ca unitate separată. Acesta este cel deosebit în asigurarea parametrului k din relații generală a capacității productive și care se referă pe lângă modul de aducere a suspensiei abrazive și la caracteristicile granulelor abrazive respectiv a suspensiei abrazive.

Există în funcție de obiectul concret al prelucrării trei tipuri de asigurare a suspensiei abrazive la locul prelucrării (vezi Fig. 9.1) și anume:

- prin stropire
- prin stropire și absorbție prin sculă
- prin refulare prin sculă.

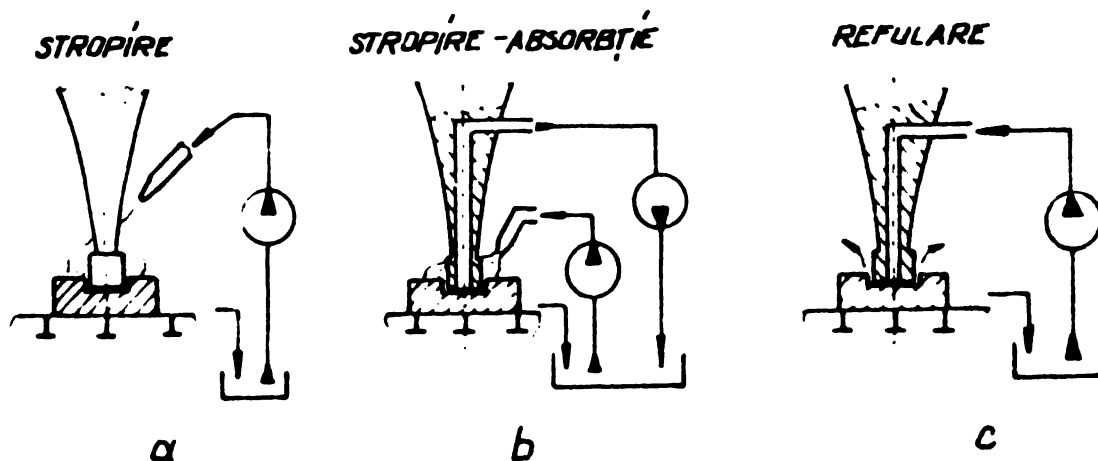


Fig. 9.1. Metode de alimentare cu suspensie abrazivă.

În cazul în care se aplică stropire este cazul cel mai puțin adecvat datorită formei de înălțimi configurărilor sculelor de prelucrare (formă de vitezi și orificii complexe).

Debitul de alimentare nu depășește valori de 10 l/min și concentrația a suspensiei abrazive în apă de circa 50%,

deci este foarte scăzută față de cazul prelucrării ultrasonice. Din acest motiv și al acestui mod de alimentare constă în faptul că pătrunderea granulelor abrazive nu este dirijată, cu

fiind mai mult satisfăcătoare astfel că ne măsurăm creșterea
 adâncimilor de prelucrare eficiența acestui sistem scade. Un
 alt motiv de interes în numeroase cazuri sisteme de vană cu
 reversări periodice care să permită reîmproschătări cu suspen-
 sive abrazivă la locul prelucrării. Capacitatea productivă crește
 în cazul acestui sistem de alimentare se constată oentru 10-15
 mm de 1-2 mm după care scăderea este pronunțată în majoritatea
 cazurilor. Modul de alimentare prin stropire și absorbție prin
sculă presupune circulația forțată și dirijată a abrazivului la
 locul prelucrării ca urmare absorbției acestuia prin sculă, prin
 tubulatură în $\lambda/2$ racordată la un sistem de absorbție independent
 sistemului de stropire. Acest sistem realizat la unele construc-
 ții de sașini ultrasonice duce la creșteri considerabile ale
 capacității productive (de la 3 la 5 ori) ca urmare a
 creșterii erozivă pronunțată în tot timpul prelucrării și care
 este mai important crește considerabil adâncimea de prelucrare
 posibilă la capacități productive eficiente. Limitările în aplicarea
 generalizată a acestui sistem sunt legate în primul rând
 de faptul că nu orice configurație a prelucrării permite aplicarea
 sculei, mai frecvent utilizându-se doar în cazul orificiilor
 cilindrice scurte sau înfundate și acestea peste o anumită valoare
 a diametrului de obicei peste 5 mm. Pe de altă parte sistemele
 de absorbție presupun elemente constructive relativ
 complexe (în special de vacuam) și sunt în unele cazuri de exploatare
 costisitoare, chiar puțin eficiente.

Un alt sistem prin sculă și prin sculă nu s-a învins
 încă în aplicarea sașinilor ultrasonice deși se realizează
 rezultate bune după unii autori prin creșterea eficienței (41),
 78), presupunând aplicarea forțată a suspensiei abrazive la locul
 prelucrării ca urmare a conștrângerii suspensiei abrazive prin
 tubulatură în $\lambda/2$ și evacuare prin interstițiul prelucrării.

Deși unele încercări experimentale au pus în evidență creșteri
 semnificative la ale capacităților productive (până la de 5
 ori) la concentrații reduse în abraziv a suspensiei (circa 20%)
 nu s-a deschis problema riscului de înfundare. Există date
 privind acest sistem care întrunește cele două limite în aplicarea
 sculei și a sculei de absorbție.

Trebuie remarcat însă că sistemul de alimentare prin

prețuri foarte mici prelucrărilor ultrasonice fără a avea
 abraziv cu număr de granule 100 fiind chiar recomandat în loc
 al celui cu stroșire deoarece la prelucrări de profunzime mai
 mare o răcire corespunzătoare și o bună evacuare a materialului
 lucrat.

În ceea ce privește calitățile de abraziv recomandate
 acestea sînt în ordine B_4C , SiC, Al_2O_3 și în cazuri speciale
 și de diamant. Din punct de vedere al capacității productive
 cel mai recomandat este abrazivul cu număr de granule 100
 (sistemul metric STAS 1753-60), iar pentru prelucrări de finisare
 calibrurile M40 și M28.

Un aspect esențial în prelucrarea ultrasonică este men-
 ținerea în permanență a capacității abrasive a abra-
 zivului utilizat avînd în vedere faptul că mecanismul preluc-
 rii ultrasonice presupune distrugerea treptată a granulelor
 abraziv. Se accentuă în mod convențional de unii autori că
 durabilitatea abrazivului este perioada de folosire pentru care
 capacitatea productivă scade la jumătate în cazul utilizării
 aceluiași abraziv.

Un alt aspect trebuie luat în considerare mai ales la prelucrări
 de groșare sau cele unde primează capacitatea productivă și
 puțin calitatea prelucrării.

Uzura sculei nu putem s-o considerăm în legătură cu sus-
 tensivul abraziv, ea aparținînd mai mult tehnologiei de preluc-
 rare și nu construcției utilajului.

9.2. Construcția sistemului de alimentare cu suspensie abrazivă - respectiv răcire.

Avînd în vedere destinația precizată ca model experien-
 țial al mașinii ultrasonice construite, sistemul de alimentare
 cu suspensie abrazivă s-a conceput în ideea realizării celor
 mai variante de alimentare și trecerea lui convenabilă pentru
 alimentare cu lichid de răcire în cazul prelucrărilor cu scule
 rotative. Un alt considerent care a stat la baza realizării
 sistemului de lîngă funcționările, a fost și simplitatea con-
 structivă.

Schema hidraulică și ciclurile de funcționare a sistemului realizat este redată la pagina 159.

Elementele caracteristice ale sistemului realizat se referă în principal la tipul pompelor realizate și anume pompele sunt flexibile, reversibile și cu debit variabil în limitele 0 - 1,4 l/min.

Schema pompei este redată în figura 9.2, iar în figura 9.3 modelul experimental al unei asemenea pompe.

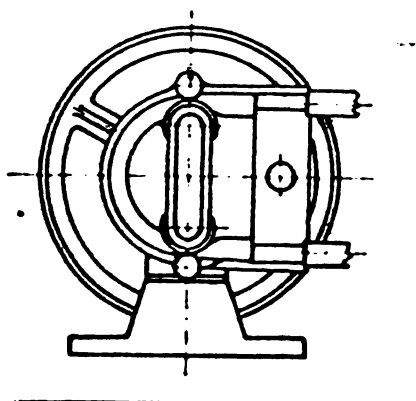


Fig. 9.2. Schema pompei

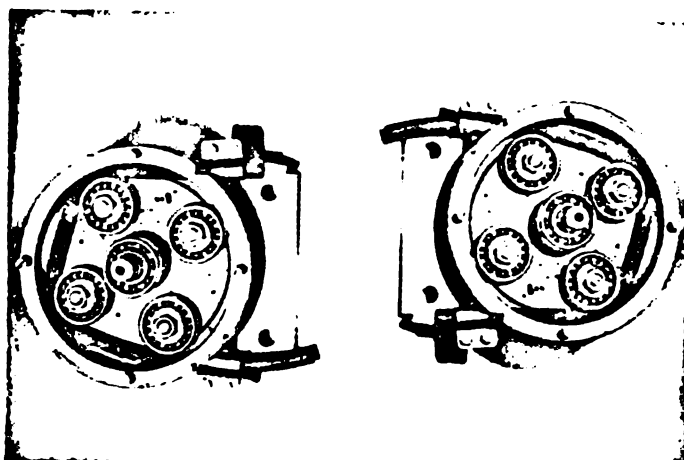


Fig. 9.3.- Model experimental de pompă.

De remarcat că aceste tipuri de pompe au dat rezultate foarte bune la încercări scopului propus. Ele realizează debitele de lucru cerute prelucrării ultrasonice, prin reglaje inițiate ale rotelor de apăsare se pot obține chiar debite vultatoare favorabile în unele condiții ale prelucrării și ale înălțimi de pompare și de absorbție (autormorsabile) de valori rezonabile.

De ce este demn de remarcat că deși constructiv simple aceste tipuri de pompe se pot folosi în unele cazuri cu succes pentru realizarea sistemului de absorbție prin sculă înlocuind astfel pompele de vid costisitoare.

Intrucât încercările noastre au pus în evidență un inconvenient major legat de posibilitatea frecventă de depunerilor de abraziv și pericolul infundărilor sistemul este prevăzut cu posibilitatea comutării prin distribuitor la un circuit de alimentare la terminarea prelucrării a ciclului de prelucrare.

Acel circuit poate fi folosit independent și pentru cazul prelucrării cu scule diamantate, iar bazinul de apă existent în

acest scop poate servi și ca bazin pentru circuitul de răcire a blocurilor ultracustice cu magnetostriectori metalici.

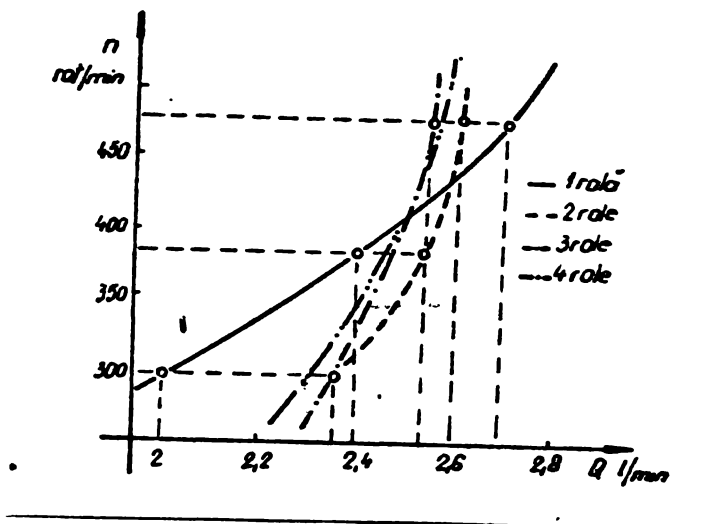


Fig. 9.4.- Variația debitului pompat și saturarea pentru pompa cu role



Fig. 9.5.- Vedere generală a standului experimental pentru încercarea pompei cu role.

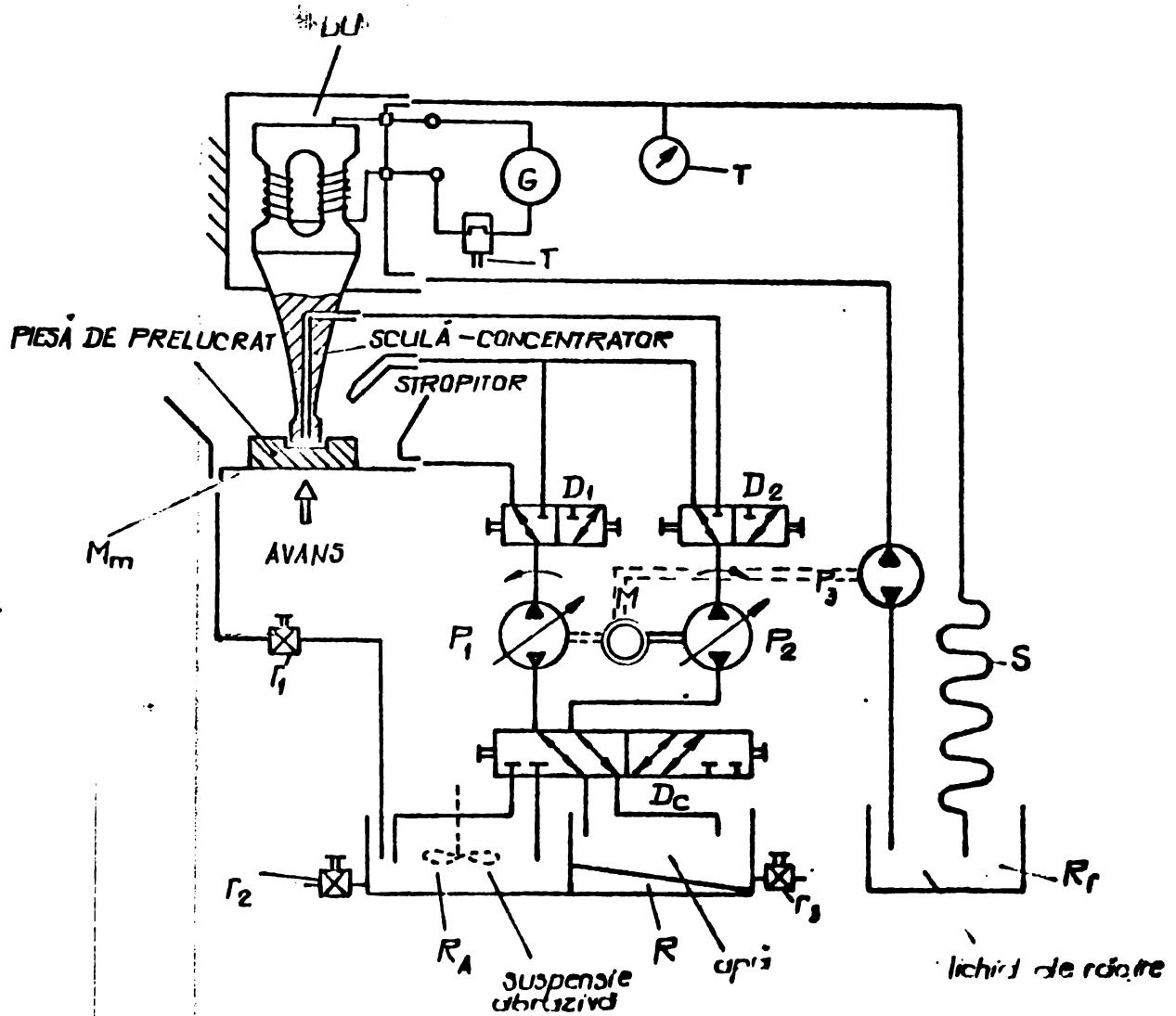
Pentru studiul funcționării elementelor constructive ale sistemului de alimentare cu suspensie abrazivă s-a avut în vedere reproducerea celor mai variate situații posibile pentru acest sistem. În acest scop s-a conceput și executat un stand de încercări a sistemelor de alimentare cu suspensie abrazivă (figura 9.5) prevăzut cu 2 pompe reglabile cu un distribuitor central și 2 bazine independente. Acest stand experimental poate servi ca unitate independentă pentru orice racordabil oricărui mașini de prelucrare cu ultrasunete. Încercările preliminare efectuate pe pompele standului, au arătat că prin un reglaj al roților se poate obține din punct de vedere funcțional și el dar și

imentului elastic, debitul pompelor crește rapid cu creșterea turației (Figura 2.4.) când se lucrează cu o singură rolă.

Interesant este faptul că se lucrează cu 2, 3 sau 4 role. Caracteristicile de funcționare ale pompei cu n role este apropiată în cazul funcționării cu 3 sau 4 role, dar se constată că la turații mai mari în cazul utilizării a 4 role există pericolul scăderii debitului din cauza timpului insuficient pentru relaxarea tubului elastic. La funcționarea cu 2 role la turații mici se constată o deficiență în tendința de a absorbe lichid chiar și din zona de refulare. De altfel pompa nu face decât să mărească pulsațiile care sînt mari și neuniforme la funcționarea cu 1 rolă, mai mici și neuniforme la funcționarea cu 3 role, mici și uniforme la funcționarea cu 2 role și neînsemnate la funcționarea cu 4 role. Din punct de vedere al prelucrării ultrasonice și a necesității evitării de uneri la suprafața pompei, regimul pulsator este avantajos. Pompele au dovedit o caracteristică bună de funcționare și în ceea ce privește înălțimea maximă de refulare.

Înălțimea maximă de aspirație măsurată a fost de 1,5 m la un debit de 1,2 l/min, iar cea de pompare de 10,6 m la 1,5 l/min.

Se recomandă la utilizarea tubului elastic de $\varnothing 9,5/1,6$ din cauciuc siliconic limitarea valorii superioare a turației la circa 500 rot/min.



- BU - Bloc ultrasonic
- T - Termostat
- G - Generator
- M_m - Masa mașinii
- P₁, P₂, P₃ - Pompa
- M - Motor
- S - Serpentina de răcire
- D₁, D₂ - Distribuitor
- D_c - Distribuitor central
- R_r - Rezervor apă de răcire
- R - Rezervor apă/făcure amest.
- R_A - Rezervor cu suspensie abrazivă
- r₁, r₂, r₃ - Robinet

CICLURI DE FUNCȚIONARE:

1. STROPIRE

R_A - D_c (dreapta) - P₂ - D_c (stinga) - STROPIȚOR - M_m - D₁ (stinga) - P₁ - D_c (dreapta) - R_A

2. REFULARE PRIN SCULĂ

R_A - D_c (dreapta) - P₂ - D₂ (dreapta) - SCULĂ CONCENTRATOR - M_m - D₁ (stinga) - P₁ - D_c (dreapta) - R_A

3. ABSORBȚIE PRIN SCULĂ

R_A - D_c (dreapta) - P₁ - D₁ (dreapta) - STROPIȚOR - M_m - SCULĂ, CONC. - D₂ (dreapta) - P₂ - D_c (dreapta) - R_A

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Proiectat | ing. I. I. I. | | | | | | | | |
| Verificat | ing. I. I. I. | | | | | | | | |
| Construcț. și asamblat | | | | | | | | | |

MAȘINA DE TRAIAN VUIA
 SCARA: ...
SISTEM DE ALIMENT. CU SUSP. ABRAZIVA ȘI RĂCIRE

AA (210/221)

10. APLICAREA INDUSTRIALA A CURENTEI ULTRASUNETE

10.1. Rezultatele și elemente de eficiență economică.

Procedeul prelucrării ultrasonice este de dată relativ recentă, iar aplicarea industrială în țară destul de redusă ca urmare a cunoașterii insuficiente a posibilităților lui și ca urmare a dependenței de importuri. Mașina de prelucrat cu ultrasunete realizată la I.P. Timișoara deși caracterizată ca model experimental este primul utilaj de acest gen realizat în întregime în țară, fiind în funcțiune încă din anul 1973 în laboratorul de Tehnologia Construcțiilor de Mașini unde se utilizează pentru cercetare, încercări, lucrări didactice de laborator și diverse lucrări curente pentru întreprinderi industriale. Acest utilaj permite abordarea unor cercetări în domeniul fundamental al tehnologiilor de prelucrare cu ultrasunete, studiul tehnologiei de prelucrare cu ultrasunete a diferite tipuri concrete de piese necesare industriei și studii privind construcția unor utilaje de acest gen. Astfel s-au putut breveta o serie de subansamble constructive specifice cât și o mașină de prelucrat cu ultrasunete de construcție nouă, brevete aflate în curs de experimentare.

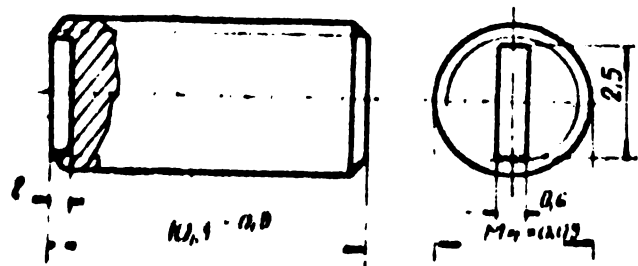


Fig. 10.1. - Miez cilindric filobat din ferită la care "obolea" se prelucrase cu ultrasunete.

Ca exemplificare a unor cercetări cu rezultate aplicative certe se amintesc cele legate de prelucrarea fantei „obole”, de la miezurile cilindrice filobate din ferită (fig. 10.1) produse de Institutul de Cercetări Electronice București pentru care se cere construcția unei mașini ultrasonice specializate. Acest tip de utilaj se afla în curs de proiectare pe baza rezultatelor obținute în urma experimentelor

efectuate cu ajutorul mașinii ultrasonice tip model experimental. Lucrările au pus în evidență posibilitatea prelucrării „obolei” în mai puțin de 1 minut la o putere medie.

Utilajul specializat pentru aceste prelucrări urmează să folosească un generator tranzistorizat, bloc ultrasonic pe bază de ferite magnetostrictive românești produse de I.C.E. București, sistem de avans electromecanic comandat prin tiristori, mecanism de indexare și alimentare automată cu piese la locul prelucrării și sistem de sesizare și compensare automată a uzurii sculei.

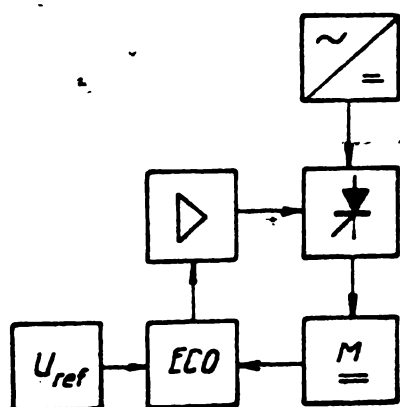


Fig.10.2.- Schema-bloc a comenzii motorului sistemului de avans.

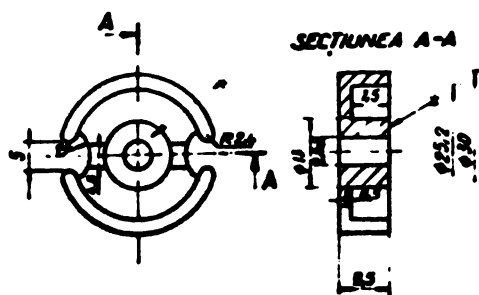


Fig.10.3.- Miez de ferită tip oală prelucrabil prin ultrasunete.

În figura 10.2 se redă schema bloc a comenzii prin tiristori a motorului sistemului de avans pentru care se fac încercări.

Pe același tip de mașină ultrasonică specializată se prevede ca prin simple dispozitivări și schimbări la mecanismul de indexare să se poată efectua și prelucrarea întrefierului de la miezurile oală din ferită produse tot de I.C.E. (suprafața notată cu asterise de pe figura 10.3).

În nomenclatorul de produse din ferită a I.C.E. București și a Întreprinderii de ferite din Urziceni mai există numeroase piese ce se pretează prelucrării cu ultrasunete, acestea fiind în serii mari de fabricație.

Totodată o serie de beneficiari ai produselor din ferită cer o serie de modificări de formă a pieselor care se pot realiza cu ajutorul prelucrării cu ultrasunete.

Un alt exemplu de cercetare aplicativă imediată servind scopurilor industriale îl

reprezintă prelucrarea prin ultrasunete a orificiului central (notat cu asterisc pe figura 10.4) la piesele duză din ceramică necesare instalației de sudare cu plasmă tip „Plasmark” de la Intreprinderea Electromotor Timișoara.

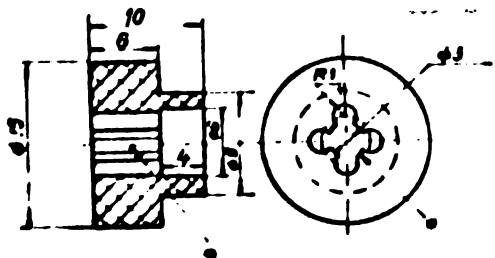


Fig.10.4. Piesă duză din ceramică prelucrabilă prin ultrasunete.

Pe lângă acestea s-au mai executat și o serie de prelucrări decorative în sticlă cerute de diverși beneficiari precum și prelucrări a unor piese speciale pentru I.O.R. București. Un alt aspect al aplicării cercetărilor cuprinse în teza de doctorat îl prezintă încercările privind utilizarea feritelor magnetostrictive românești produse de I.C.E. București în blocurile ultrasonice ale instalațiilor tehnologice cu ultrasunete.

Aceste cercetări efectuate în regimuri diferite apropiate

sau chiar similare condițiilor concrete de exploatare au furnizat o serie de date esențiale privind utilizarea acestor ferite cu domeniu limitat de aplicare pînă în prezent, precum și date privind îmbunătățirile necesare la elaborarea lor și chiar la diversificarea sortimentului.

De remarcat că toate cercetările cuprinse în capitolul 7 și parțial în capitolul 8 au o aplicabilitate mult mai largă decît mașinile de prelucrat cu ultrasunete, ele fiind valabile și pentru celelalte tehnologii cu ultrasunete cu arie mare de aplicare cum sînt sudarea, curățirea, deformarea plastică și activarea diferitelor procese fizico-mecanice cu ultrasunete. În acest sens se amintește că rezultatele cercetărilor asupra blocului ultrasonic sînt deja în curs de aplicare industrială prin realizarea unei mașini de sudat cu ultrasunete a foliilor subțiri de polieșteri de la izolațiile de fază ale motoarelor electrice (Contract I.P.T. 187/5.VII.1975 cu Intreprinderea Electromotor Timișoara). Aplicarea cercetărilor au permis abordarea acestei lucrări la un preț competitiv față de utilajele

similare oferite de furnizori din străinătate.

Totodată se menționează lucrările de asimilare pentru diferite transmisii mecanice mai ales în industria ușoară a variatorului frontal cu rola (brevetat de autor) folosit în sistemul de avans al mașinii ultrasonice.

Elementele de eficiență economică sînt previzibile în măsura în care se au în vedere posibilitățile oferite de tehnologiile cu ultrasunete și eliminarea importului unor utilaje costisitoare, precum și creșterea disponibilităților pentru export de utilaje, sau tehnologii.

10.2. Perspectivă și limite.

Perspectivă aplicării la scară industrială largă a tehnologiilor cu ultrasunete și a posibilităților de realizare în țară a utilajelor necesare sînt reflectate în parte de rezultatele unei anchete efectuate în diferite întreprinderi din țară (contract I.P.T. nr.15/11.II.1975 cu ICPTCM București).

În baza unor fișe de testare însoțite de un material documentar informativ precum și a activității de sondaj desfășurată la I.P.Timisoara și I.P.București au rezultat pentru procedeul de prelucrare a materialelor cu ultrasunete necesități de realizare a orificiilor cu diametre sub 40 mm uneori chiar sub 1 mm (pînă la 0,2 mm) și a diferite cavități în diferite materiale electroizolante ca diamante, ceramică, sticlă, carburi dure, oțeluri speciale etc. la peste 14 întreprinderi. Datele centralizate pentru cele mai evident abordabile teme sînt reduse în tabelul 10.1.

De remarcă că ancheta a avut în obiectiv și alte tehnologii cu ultrasunete cum sînt sudarea, curățirea, intensificarea proceselor fizico-mecanice, turnarea, tratamentul termic, deformarea plastică rezultînd corințe foarte mari mai ales pentru procedeul de curățire și sudare cu ultrasunete.

Deși testarea a vizat aproape 100 de întreprinderi a trebuit să se țină cont și de rezerva, necunoașterea clară sau lipsa de interes a unor factori testați față de procedeele tehnologice cu ultrasunete. Din 77 de răspunsuri numai 24 conțin

valori rezultând prin estimare o eficiență medie anuală de 22.016.700 lei. Această valoare se referă numai la 31,2 % din răspunsuri și are evident un caracter informativ întru cât baza reală a eficienței trebuie să rezulte numai în baza unui proces concret de cercetare a tehnologiei respective.

Oricum oportunitatea introducerii în țară a noilor tehnologii cu ultrasunete apare evidentă. Mai mult s-a constatat că în curățirea cu ultrasunete existau deja solicitări cu circa 10 ani înainte, dovadă faptul că Intreprinderea „Metalul Roșu” din Cluj a produs instalații carusel de curățire industrială cu ultrasunete, instalații existente la mai multe întreprinderi din țară. Deficiența majoră a constatat în faptul că elementele de tehnicitate adică generatorul de ultrasunete și transductorii erau importați din străinătate.

Față de situația actuală și de perspectivele dezvoltării accelerate a noi domenii în industrie asimilarea construcției în țară a mașinilor de prelucrat cu ultrasunete devine posibilă și evidentă.

În prima etapă se vor putea construi generatoare tranzistorizate pînă la 400 w și utilizînd feritele românești devine posibilă realizarea unor mașini de prelucrat cu ultrasunete de puteri mici.

Asimilarea în țară a construcției sculelor diamantate (I.M.F. București) oferă posibilitatea construcției și a variantei fără suspensie abrazivă.

Fabricarea mașinilor ultrasonice de prelucrat dimensiunilor de puteri mari are în vedere asimilarea în țară în următorii ani pe baza unui program național de cercetare, a generatoarelor de putere 1 - 4 Kw tranzistorizate sau cu tuburi, asimilarea fabricării transductoarelor ceramice pe bază de zirconat titanat de plumb și mai ales a aliajelor metalice magnetostriective noi.

Totodată se impune precizarea clară a destinației mașinilor ultrasonice de prelucrat avînd în vedere că mașinile universale sînt mai complicate, mai scumpe și cu performanțe de extremă mai reduse.

În același timp trebuie să se aibă în vedere cu mult

discernămînt posibilitățile reale și avantajele ne care le oferă tehnica prelucrării cu ultrasunete, cunoscut fiind faptul că ea este o tehnică eficientă pentru un sortiment de materiale și un domeniu de dimensiuni bine precizat evitîndu-se supraevaluarea posibilităților acestei tehnici așa cum se întîmplă în unele situații în prezent.

PRELUCRAREA PRIN E. IZIUNE CU ULTRASUNETE

Tabel 10.1

| Nr. or. | Intreprinderea beneficiara | Operatia tehnologica | Date tehnice | | Date economice | | | Observatii | |
|---------|--|---|---|--|-----------------|--------------------------------|-------------------------|-------------|------------------------------|
| | | | Material | Dimensiuni Greutati | Bucati 1980 mil | Valoarea pro- duciei (mii lei) | Costul actual (mii lei) | | Eficiența estimata (mii lei) |
| 1. | Centraia industrială mo- toare și materiale electro- tehnice CIMME | -găurire -finisare | Diamant | φ 0,2 φ 2,14 L = 2-3mm | 6 | - | + | Foarte bună | Pentru trefilat sârme de Cu |
| 2. | Institutul de Cercetări și proiectări „Electropu- teie” Craiova | -prelucrare dimensională (găurire, filetare) | carburi met. materiale dure | φ 2 ÷ φ 40 | - | - | - | - | - |
| 3. | Industria Sîrmii „Cîmpia Turzii” | -găurire filiere -finisare filiere -plăcuțe din carburi | carbură de wolfram diamant | φ 8 - φ 10 φ 4 - φ 8 0,5 ÷ 3 grame | 50 6 | 2500 300 | 120 200 | - | Rz |
| 4. | Centraia Industrială de fibre și fire chimice Săvinești | -găurire filiere -recondițio- nare piese ce- ramice | Otel inoxidabil Ceramica | g = 0,1 - 5 kg g = 0,01 - 0,05 | 2,6 18 | 140 300 | 70 150 | - | placă ci- lindrică |
| 5. | Intreprinderea de utilaje și piese de schimb București I.U.P.S. | -finisare ca- vități matri- te | - | G = 1 - 300 | 1000t | 50 | 15000 | - | - |
| 6. | Intreprinderea optică Română | -finisare ca- vități -ascuțire scule, broșe, alezare | carburi meta- lice, sticlă W, Mo, aliage W-Mo | φ 5 - φ 40 | 3 50 | - | - | - | precizie ridicată Rz 0,8 |
| 7. | Fabrica de aparate electronice de măsură și industriale București | -prelucrare dimens. -taiere -roțare -gaurire | geom sticlă ceramici | - | - | - | - | - | - |
| 8. | Metalogicabus | -rectificare | discuri diamant | pastile discuri | 10 | - | - | - | - |

11. CONCLUZII

Principalele contribuții originale ale autorului aduse în lucrarea de față sînt următoarele :

A. In domeniul cercetării aplicative.

1. Proiectarea și realizarea integrală *cu* sprijinul laboratorului de T.C.M. a primei mașini de prelucrat cu ultrasunete în țară. Mașina destinată prelucrărilor dimensionale cu ultrasunete pentru diferite materiale la diferite dimensiuni, echipată complet, este apreciată ca model experimental.

2. Efectuarea practică a diferite prelucrări ultrasonice și încercări experimentale pentru piese cu aplicare industrială imediată sau de cercetare.

3. Realizarea, experimentarea și aplicarea unei soluții constructive noi pentru un variator de turație cu posibilități de aplicare la diferite alte tipuri de acționări mecanice. Soluția este brevetată de autor (Dosar OSIM 70810/9.05.1972 hot.brevetare 10.11.1974.)

4. Brevetarea de autor (31,32) a două soluții constructive noi pentru sistemele de avans ale mașinilor ultrasonice. (Dosar OSIM 74910/26.05.73 hot.brevetare 01.02.75 și dosar OSIM 73999/28.02.73 hot.brevetare 01.02.75) care se află în curs de experimentare și aplicare.

5. Brevetarea ca și coautor (94), (96), (97), a trei soluții constructive noi pentru blocurile ultrasonice ale mașinilor de prelucrat (Dosar OSIM 72574/19.10.72 hot.brevetare 01.02.75, dosar OSIM 74911/26.03.73 hot.brevetare 02.01.1975, dosar OSIM 74907/26.03.73.) aflate în curs de experimentare și aplicare.

6. Brevetarea ca și coautor (95) a ^{unui} tip nou de mașină ultrasonice cu două posturi de lucru (Dosar OSIM 74977/31.05.73, hot.brevetare 01.02.1975).

7. Proiectarea și realizarea unui ștand pentru încercarea blocurilor ultrasonice bilaterale și a unui ștand pentru încercarea sistemelor de alimentare cu suspensie abrazivă.

8. Realizarea unui ștand pentru aprecierea eficienței blocurilor ultrasonice prin măsurarea și evaluarea amplitudinii oscilațiilor.

9. Proiectarea și realizarea unui set de blocuri ultrasonice pe bază de transductori metalici (Ni) și a unui set pe bază de transductori de ferite magnetostrictive produse în țară.

10. Efectuarea unor încercări și determinări comparative și punerea la punct a metodicii de cercetare pentru diferite tipuri constructive concrete de blocuri ultrasonice.

11. Realizarea unor blocuri ultrasonice interschimbabile și încercarea acestora având posibilitatea aplicării lor și în alte tehnologii conexe cu ultrasunete cum sînt sudarea, presarea, curățirea și activarea unor procese fizico-mecanice cu ultrasunete.

B. In domeniul cercetării teoretice și experimentale.

1. S-a întocmit un studiu monografic analizînd în mod critic rezultatele obținute pînă în prezent în domeniul tehnologiei de prelucrare cu ultrasunete și mai ales în ce privește problemele de proiectare și realizare a utilajului.

2. Pe baza rezultatelor cunoscute precum și a experienței acumulate la realizarea mașinii de prelucrat cu ultrasunete (model experimental) s-a fundamentat o metodă de concepție și apreciere a realizării mașinilor ultrasonice în concordanță cu parametrii tehnologici de bază ai prelucrării.

3. S-au făcut aprecieri și încercări de optimizare privind alegerea variantelor constructive optime la realizarea mașinilor ultrasonice.

4. Pe baza rezultatelor obținute s-a apreciat oportunitatea și posibilitățile de realizare în țară a mașinilor de prelucrat cu ultrasunete precum și a instalațiilor tehnologice

conexe ce utilizează ultrasunetele cum sînt mașinile de sudat, instalațiile de curățit și echipamentele pentru activarea ultrasonică a diferitelor procese.

5. S-au pus la punct criterii de calcul și proiectare a blocurilor ultrasonice, elemente de tehnologie specifică acestora precum și aprecieri privind utilizarea diferitelor materiale magnetostrictive sau electrostrictive în instalațiile tehnologice cu ultrasunete.

6. S-au făcut determinări experimentale complexe asupra blocurilor ultrasonice realizate, privind eficiența acestora, utilizînd atît aparatură curentă cît și aparatură specializată de înaltă clasă.

7. S-au analizat în legătură cu dinamica prelucrării diferitele tipuri de sisteme de avans, precizîndu-se o soluție constructivă optimă adoptată în construcția modelului experimental.

8. S-au reanalizat teoriile privind influența factorului „presiune de contact” în construcția sistemului de avans și s-a verificat experimental influența concretă a acestuia asupra capacității productive a prelucrării pe mașina ultrasonică construită.

9. S-au analizat și verificat experimental o serie de date privind problema „deschisă” a eventualei nocivități a ultrasunetelor de mare intensitate asupra omului, precizîndu-se elemente concrete de protejare preventivă și subliniindu-se necesitatea introducerii ciclului de lucru automat.

10. S-au făcut încercări experimentale și studii privind sistemele de alimentare cu suspensie abrazivă (atît pe mașină cît și pe ștand) precizîndu-se o soluție constructivă simplificată.

11. S-au apreciat direcțiile de dezvoltare în viitor a tehnologiei de prelucrare și utilajului ultrasonic, probleme ce se impun a fi reluate sau perfecționate și posibilitățile și oportunitatea introducerii în țară a tehnologiilor cu ultrasunete.

12. Rezultatele cercetărilor asupra blocului ultrasonic sînt de o utilitate practică imediată și pentru alte tehnologii cu ultrasunete cum sînt sudare, deformare plastică, curățirea, activarea proceselor fizico-mecanice, etc.

BIBLIOGRAFIE

1. Acton, I.W. - The effects of industrial airborne ultrasonnd on humons -Ultrasonics, mai, 1974
2. Adithan, M. - Effect of $\frac{d}{D}$ ratio of tool cross-section on machining rate on ultrasonics drilling - Journal of the Institution of Engineers, vol.52, nr.11 iuly 1972. p.378-381
3. Angus, H.C. and Neppiras, E.A. - Nickelbased magnetostrictive alloys for electromechanical transducers. Ultrasonics, july, 1969.
4. Astașev, V.K. - Reglarea mașinilor unelte ultrasonice sarcină (lb.rusă) - Stanki i instrument, Nr.10, 1972.
5. Astașev, V.K., Sakoian, A.R. - Experimentalnoe isledovanie dinamiki kolebatelnoi sistemî ultrazvukovo stanka - Mașinovedenie, Nr.4, 1967.
6. Augusta de Filipi. - Prelucrarea cu ajutorul ultrasunetelor - Prelucrarea metodelor prin tehnologii neconvenționale B.I.T., Nr.2/1972.
7. Balomuth, L. - Method and means for removing material from a solid body - Patent USA -2580716/1952.
8. Bădărău, E și Grumăzescu, M. - Ultraacustica fizică și tehnică - Editura tehnică București 1967.
9. Bădărău, E și Grumăzescu, M. - Bazele acusticii moderne - Editura Academiei Socialiste Române București 1961
10. Biddell, D.C., Sansome, D.H. - The developmant of oscillatory metal-drawing equipment - and engineer's view - Ultrasonics, September 1974.
11. Blitzstein, N.I. și alții. - Novii ultrazvukovoi stanok (model 4770) - Akusticeskii jurnal, 1, 1959.
12. Brown, B and Goodman, I.E. - High Intensity Ultrasonics: Industrial Applications - Iliffe Books London 1973.

13. Clark, C.A. Improved Nickel-Base Alloys for Magnetostrictive Transducers - The Journal of the Acoustical Society of America, vol.33, nr.7, july 1961.
14. Clarkson, I. - Ultrasonics in the manufacture and repair of diamond wire drawing dies - Ultrasonics january 1968.
15. Crawford, A. - A modular ultrasonic cleaner - Ultrasonics vol.2 Oct - Dec.1964.
16. Crawford, A. - Technique des ultrasons - Dunod Paris 1959.
17. Daniels, H.P.C. - Ultrasonic welding - Ultrasonics, October-December 1965.
18. Darabont, A., Văiteanu, D. - Combaterea poluării sonore și a vibrațiilor - Editura Tehnică București 1975.
19. Dikușin, V.I., Barke, V.N. - Eroziunea ultrasonică și influența ei dată de caracteristicile vibratorii ale sculei (limba rusă) Stanki i instrumentvo 5, 1958.
20. Drăgan, O. - Cercetări privind tragerea la rece a țevilor pe dop activat ultrasonic - (teză de doctorat) Timișoara 1974.
21. Drăgan, O. și alții. - Contribuții privind studiul traductoarelor inductive pentru măsurarea amplitudinii vibrațiilor în medii solide - A IV-a Conferință Națională de Acustică, București 1973.
22. Fischer, G. - Prelucrarea prin ultrasunete pe mașini echizate cu sistem de aspirație prin pompă de vid (trad.lb.franceză) - La pratique des Industries Mecaniques, 2, nr 5, 1964.
23. Gherșgal, D.A. și Fridman, V.M. - Aparate cu ultrasunete - Editura tehnică, București 1962
24. Grumăzescu, M., Stan, A., Wegener, N., Marinescu, V. - Combaterea zgomotului și vibrațiilor - Editura tehnică București 1964.

25. Harris, C.M.,
Crede, Ch.E. - Socuri și vibrații - vol.I,II,III. Editura tehnică. București 1968.
26. Herbertz, I. - Electrodynamische Schwingungsmeßsonde - Prospectus "I.Herbertz" Laurensberg, Aachen.
27. Horbenka, I.G. - Ultrazvuk v mașinostroenie- Izdatelstvo Mașinostroenie Moskva 1966.
28. Hulst, A.P. - Macrosonics in industry -2. Ultrasonic welding of metals.- Ultrasonics, november 1972.
29. Iclănzan, T. - Mașină experimentală de prelucrat cu ultrasunete. Proiect tehnic.Timișoara 1972.
30. Iclănzan, T. - Variator frontal cu role intermediare- Dosar OSIM nr.70810/9.V.1972.Titular IPT.
31. Iclănzan, T. - Mecanism de avans cu autoreglare pentru mașini de prelucrat cu ultrasunete - Dosar OSIM nr.73999/28.II.1973 Titular IPT.
32. Iclănzan, T. - Mecanism de avans pentru mașini de prelucrat cu ultrasunete-Dosar OSIM nr.74910/26.V.1973 Titular IPT.
33. Iclănzan, T. - Realizări în tehnica prelucrării materialelor prin ultrasunete- I.P.T. 1974 (referat intern)
34. Iclănzan, T. -Parametrii tehnologici ai prelucrării dimensionale cu ultrasunete- I.P.T. 1974 (referat intern)
35. Iclănzan, T. - Parametrii constructivi ai mașinilor de prelucrat cu ultrasunete și construcția lor - I.P.T.1975 (referat intern).
36. Iclănzan, T. - Sistemele de avans ale mașinilor de prelucrat cu ultrasunete- I.P.T.1975 (referat intern)
37. Iacovachi, I.N. - Brevete românești privind depoluarea sonoră realizată cu atenuatoare de zgomot gazodinamice INCREST bazate pe efectul Coandă-Invenții și inovații, vol.IX, 1, București 1974.

38. Ingebrans, D.,
Schlenk, R. - Amplituden und Frequenzmessung beim Ultraschallschweißen von Metallen - Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt RDG-11 (1969) 44.
39. Jana, I.K. - Production of fine diameter holes on ultrasonic drilling machine- In Journal of the Institution of Engineers, India, 54,1973,p.36-40.
40. Kazanțev, N.F. - Dependența productivității prelucrării ultrasonice de regimul de lucru (lb.rusă) - Stanki i instrument Nr.3, 1963.
41. Kazanțev, N.F. - Căile de mărire a productivității și preciziei de prelucrare ultrasonică (lb.rusă)- Stanki i instrument nr.4/1966.
42. Karavainikov, V.N. - Ispolzovanie ultrazvuka pri elektrokhimicheskom sposobe obrabotki metalov - Akustika i ultrazvukovaya tehnika, nr 7, 1972, p.30-32.
43. Knight, I.I. - Effects of airborne ultrasound on man- Ultrasonics, vol 6, nr 1, ian 1968.
44. Kogan, M.G. și
Tuzlukova, V.A. - Mașină pentru prelucrarea cu ultrasunete a materialelor dure - Buletinul Construcției de Mașini nr.9, 1958.
45. Kops, L. - A study of ultrasonic machining- Metalworking Production, nr 6,1961, p.51-57.
46. Legge, P. - Machining without abrasive slurry- Ultrasonics, july, 1966.
47. Lehfeldt, W. - Die bearbeitung Harter Stoffe mittels Ultraschall - Industrie-Rundschau nr.2, 1961, p.25-31.
48. Lehfeldt, W. - Die Arbeitsweise der Ultraschall-Bohrmaschine - Industrieblatt, 1955,p.119-122.
49. Livșiț, A.L. și
alții - Universalni ultrazvukovoi proșivocinfi stanok (model 4772)- Stanki i instrument nr 6., 1959.

50. Markov, A.I. - Ultrasonic machining of intractable materials- Illife Books, London 1966.
51. Markov, A.I. - Cinematica prelucrării la dimensiune cu ajutorul ultrasunetului (limba rusă)
- Stanki i instrument nr.10/1959.
52. Marty, C. - Prelucrarea abrazivă cu ajutorul ultrasunetului -(limba franceză)-Machine Moderne, vol.65,nr.745,1971
53. Matauschek, I. - Einführung in die Ultraschalltechnik- Berlin 1957.
54. Markov, A.I.,
Ustinov, I.D. - Studii asupra găuririi ultrasonice a materialelor nemetalice cu ajutorul sculelor cu diamant- Prelucrarea metalelor prin tehnologii neconvenționale, RSR, BIT, nr 4, 1972 p.10-14.
55. Merkulov, I.G. - Teoria ultrazvukovik concentratovov-jurnal Nr.3, 1957.
56. Mecetner, B.H,
Iahimovici, D.F. - Sostoianie i perspectivi razvitia ultrazvakovoi razmerni obrabotki- Stanki i instrument Nr.9, 1967.
57. Miller, E.G. - Special theory of Ultrasonic Machining Journal of Applied Physics, vol.28, nr.2, 1957.
58. Mortimer, I. - Ultrasonics will machine tomorrow's materials - The Engineer, ianuary 1970, p.32-35.
59. Nanu, A. - Tehnologia materialelor- Editura Didactică și Pedagogică, București 1972.
60. Nanu, A.,
Nichici, A. - Definirea, clasificarea și caracteristicile generale ale metodelor de prelucrare prin eroziune.- Standardizarea nr.2/1969.
61. Neppiras, E.A. - Ultrasonic machining and forming - Ultrasonics, vol.2,1964.
62. Neppiras, E.A. - New materials for the detection and excitation of vibrations- Journal of Physics. E. Scientific Instruments. Oct.1973. vol.6.nr.10.

63. Neppiras, E.A. - Ultrasonic welding of metals - Ultrasonics, July-September 1965.
64. Neppiras, E.A. - The mechanism of ultrasonic drilling- Metalworking Production, 100, 28, 1956.
65. Neppiras, E.A. - Report on ultrasonic machining- Metalworking Production, 100, Nr.27-31, 33-34, 1956.
66. Noskov, N.S. și alții - Rascet concentratorov ultrazvukovih kolabanii - Vestnik mașinostroienia nr.10, 1969., p.57-59.
67. Petomha, P.G. și Markov, A. - Ultrazvukoe sverlenie glubokih otverstii v krupkih materialov almaznîm instrumentom - Vestnik mașinostroienie-Nr.10/1970.p 54-57.
68. Pohlman, R. - Lepuirea prin impact cu ultrasunete (trad.lb.germ.) Industrie Anzeiger, 80, 1964.
69. Popilova, L. - Novoe v electrofiziceskoi i electrohimiceskoi obrabotke materialov- Moskva-Leningrad Izdatelstvo Mașinostroienie 1966.
70. Pisarevski, M.M. - Ultrazvukovaia obrabotka hrupkili materialov - Vestnik mașinostroienia, Nr.10, 1956.
71. Richter, H. - Über Untersuchungen von Vorgängen beim Verbinden von Metallen durch Ultraschall- Disertation Darmstadt 1967.
72. Rozenberg, L.D. și alții - Ultrazvukoe rezanie- Izd.Akademii Nank SSSR. Moskva 1962.
73. Rozenberg, L.D. - High Intensity Ultrasonic Fields- New York, London, Plenum Press 1972.
74. Rozenberg, L.D. - ...ki moșnogo ultrazvuka - Izdatelstvo „Nauka” Moskva 1967.
75. Rozenberg, L.D., Iahimovici - Ultrazvukovoi spasov obrabotki tverdîh i krupkih materialov- Vestnik mașinostroienia, 39, 2, 1959, p 51-55.
76. Rozenberg, L.D., Kazanțev, V.F. - Isledovanie mehanizma ultrazvukogo rezania pri pomoșci visokoskopoctnoi kinosemki- Stanki i instrument,nr 5, 1959.

77. Rozenberg, L.D.,
Kazanțev, V.F., - O fizike ultrazvukovoi obrabotki tverdih materialov - Dokladi Akademii Nauk S.S.S.R., 124,1,1959.p 79-82.
78. Savii, G și
Iclănzan, T. - Contribuții la studiul mașinilor ultrasonice pentru prelucrarea materialelor - A IV-a Conferință de Acustică, caiet 14, vol.II B, Ultrasunete, Academia RSR, Comisia de Acustică, București 1973.
79. Savii, G și
Iclănzan, T., ș.a. - Determinarea experimentală a regimurilor optime de funcționare a blocurilor ultraacustice a mașinilor de prelucrat prin ultrasunete.- Buletinul Științific și Tehnic al Institutului Politehnic „Traian Vuia” Timișoara. Seria mecanică nr.2/1972 (17)p 229-241.
80. Savii, G.,
Iclănzan, T., ș.a. Studiul experimental comparativ al blocurilor ultraacustice destinate instalațiilor tehnologice cu ultrasunete.- Buletinul științific și tehnic al I.P.T. Seria mecanică Tom 18(32), fasc.1/1973.
81. Savii, G.,
Iclănzan, T. - Probleme tehnologice privind curățirea cu ultrasunete în industrie.- Comunicările celei de a II-a conferințe în domeniul proceselor și utilajelor de prelucrare la rece. 26-27 octombrie 1973. Timișoara.
82. Savii, G., Iclănzan, T., Vucu, I. - Effect of tool tip shape and dimensions in the ultrasonic machining with abrasive slurry- Timișoara, iuly, 1974 rev. Ultrasonics.
83. Savii, G.,
Iclănzan, T. - Machining on romanian experimental ultrasonic machine-tool.- Timișoara iunie 1974, rev.Ultrasonics.
84. Savii, Gh. - Tehnologia construcției de mașini- Editura Didactică și Pedagogică București 1967.

85. Scheibener, H. - Auslegung von Hochleistungsrüsseln für die Ultraschallbearbeitung - Dissertation, Hannover 1971.
86. Severdenko, V.P. - Ultrazvukovaja obrabotka metalov. Minsk. Izdatolstvo Nauka i Tehnika 1966.
87. Shaw, M.C. - Das schleifen mit Ultraschall-Micro-tecnic, Nr.6, 1956, p.265-275.
88. Sievers, R. - Metode de prelucrare cu ultrasunete a diamantelor și aliajelor dure (rezumat)-Prelucrarea metalelor prin tehnologii neconvenționale. BIT nr.6,1973.p60-65
89. Silaș, G. - Mecanică- Vibrații mecanice - Edit. Didactică și Pedagogică-București 1968.
90. Spitzig, S. - Schneiden mit Ultraschallschwingungen-Maschinen Ban 45,1955,p.15-18.
91. Stanomir, D. - Electroacustică - Edit.Did.și Pedagogică, București, 1968.
92. Savii, G.,
Iclănzan, T. - Unele considerații asupra aplicării vibrațiilor ultrasonice în industrie - Conferința „Vibrații în construcția de mașini”, Timișoara 1975.
93. Savii, G.,
Iclănzan, T. - Curățirea cu ultrasunete în industrie A II-a Conferință de prelucrări la rece, Timișoara 1973.
94. Savii, G.,Iclănzan,
T.,Mladin,E.,
Egler,I. - Vibrator magnetostrictiv pentru instalării tehnologice cu ultrasunete - Dosar OSIM nr.72574/19.X.1972.Titular I.P.T.
95. Savii, G.,Iclănzan,
T., Mladin, E.,
Egler, I. - Mașină de prelucrat cu ultrasunete - Dosar OSIM nr.74972/31.V.1973 Titular I.P.T.
96. Savii, G.,Iclănzan,
T., Mladin, E.,
Egler, I. - Vibrator magnetostrictiv - Dosar OSIM nr. 74907/26.V.1973. Titular I.P.T.
97. Savii,G.,Iclănzan,
T.,Mladin,E.,Rgler,I. - Vibrator magnetostrictiv - Dosar OSIM nr.74911/26.V.1973 Titular I.P.T.

98. Sonea, I., Mineă, M. - Prelucrarea unor materiale metalice indigene cu ajutorul energiei ultrasonice.- A IV-a Conferință de Acustică. Caietul 14 vol.II B. Ultrasunete.- Academia R.S.R. Comisia de Acustică. 29-31 mai 1973 București.
99. Thews, H. - Hinweise für die Sonotroden-Herstellung in Werkzeugban des Anwenders - sonderdruck KLN-Ultraschal - GmbH.
100. Thews, H. - Ultraschall - Anlagen zum Verbinden von Thermoplasten und Einbetten von Metallteilen- KLN Ultraschall (Bonderdruck).
101. Wetzler, K. Ultraschall in der Fertigungs und Prüftechnik- VDI-2, 109, nr 35, dec. 1967.
102. Whymark, R.R. - Utilization of Magnetostrictive Materials in Generating Intense Sound- The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 33, nr.6, iune 1961.
103. Wilson, G.L. - Effect of a longitudinal Static Pressure upon a Magnetostrictive Ferrite - The Journal of the Acoustical Society of America, vol 33, nr.8, august 1961.
104. Yarnitsky, Y., Braun, S. - Măsurarea amplitudinilor vibrațiilor la găurirea ultrasonice (limbă germană)- Microtecnic, 21, nr.3, 1967.
105. Veroman, V.I. - Kreplenie kolebatelnik sistem v go-lovkah ultrazvukovih stankov- Stanki i instrument, Nr 2, 1960
106. Veroman, V.I., Arenkov, A.B. - Ultrazvukovaia obrabotka materialov - Izdatelstvo Maşinostroenie, Leningrad 1971.
107. Vetter, T. - Werkstoffbearbeitung mit Ultraschall" Metall, 20, nr 10 oct.1966.

108. Vetter, T. - Kenziffern für die Bearbeitbarkeit von Werkstoffen mittels Ultraschalls-Werkstattstechnik 1968, 6, nr.58.
109. Vetter, T. - Das werkstattgerechte Bemessen von Bohrüsseln zum ultraschallbearbeitung-VDI-Z (seil 3) 11061968)nr.9.
110. Vetter, T. - Einfluss der Genauigkeit von Machine und Schwingsystem auf des Arbeitsergebnis beim Schwinläpen mit Ultraschall-Werkstattstechnik 58 (1968) Heft 7.
111. Volosatov, V.A. - Ultrazvukaia obrabotka- Lenizdat, 1973.
112. x x x - Prelucrarea cu ultrasunete a metalelor I.D.T. (culegere de material documentar) București 1966.
113. x x x - Prelucrarea prin ultrasunete și vibrații a metalelor- Culegere de traduceri I.D.T. București 1970.
114. x x x - Prelucrarea metalelor cu ultrasunete Culegere de material documentar. I.D.T. București 1966.
115. x x x - Aplicații ale ultrasunetelor în industrie București. I.D.T.1971
116. x x x - Studiul și cercetarea oportunității și posibilităților de utilizare a prelucrărilor cu ultrasunete a sudării, flacării, presării de insertii și curățirii industriale cu ultrasunete în industria constructoare de mașini și producerii în țară a instalațiilor tehnologice cu ultrasunete - Contract I.P.T. nr.15/11.II.1975 pentru I.C.P.T.C.M. București.
117. x x x - Procedeu tehnologic și echipament pentru sudarea cu ultrasunete a feliilor de materiale plastice - Contract I.P.T.nr 187/5.VII.1975 cu Intreprinderea Electromotor Timișoara.

118. x x x - Machines a usiner par ultrasons-
Machine Outil, nr.303, 1973 p.67-71
119. x x x - Dawe type 1138 A ultrasonic machining
equipment - Machinery and production
engineering, april 5, 1967.
120. x x x - AERE 2-axis universal ultrasonic
machine - Machinery 111, ne 2855,1967
121. x x x - Ultraschall - Bdermaschine - Werkstatt
und Betrieb, 100 (1967) 3.
122. x x x -Au ontline of power ultrasonics-kerry
Ultrasonics Ltol.
123. x x x - C22/60 and C40/25 piezoelectric sand-
wich transducers for power ultrasonics-
Bulletin 66044, May 1970 Vernitron LTD.
124. x x x - Ultrasonic machining apparatus-
Patent USA 3482360 IASA vol 47, nr 4,
1970.
125. x x x -Ultrasonic magnetostrictive transducer
element- Patent USA 3484630, IASA, vol
47, nr.4., 1970.
126. x x x - Magnetostrictive vibrator for high
frequency machining of bard materials-
Patent USA 3471742, IASA, vol 47, nr 3,
1970.
127. x x x - Matériaux magnétiques- piezo-électri-
ques- Catalog 1974-1975 RTC La Radio-
technique-Compelec.
128. x x x - Nickelhaltige magnetische Legierungen
Nickel-Informationsbüro GmbH, Düsseldorf
1965.
129. x x x - Catalog de ferite. I.C.E.București.
130. x x x - Brüel & Kjaer. Catalog general.