

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timisoara
Facultatea de mecanică.

Ing. Iosif-Florin Grosu

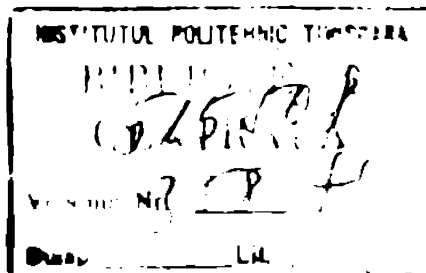
TEZA DE DOCTORAT

COMANDA ADAPTIVA A AVANSULUI LA
MASINI DE GAURIT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific :
Prof. dr. ing. EUGEN DODON

- 1985 -



1. INTRODUCERE

1.1. Dezvoltarea industriei constructoare de mașini în R.S. România

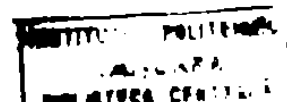
În Raportul la cel de-al XIII-lea Congres al P.C.R. tovarășul Secretar general al P.C.R. Nicolae Ceaușescu arăta : "Ritmuri medii anuale de creștere mai mari sînt prevăzute pentru industria construcțiilor de mașini de 7-7,5 la sută" ceea ce corespunde politicii consecvente a P.C.R. de a realiza în țara noastră o puternică industrie constructoare de mașini, ca pivot al întregii dezvoltări economico-sociale.

Un rol deosebit de important revine în cadrul general al industriei constructoare de mașini, producției industriilor constructoare de mașini-unelte, electronice și a mijloacelor de calcul /1/. Se extinde producția de utilaje de mare complexitate și cu grad ridicat de automatizare. Se preconizează ca pînă în anul 1990 nivelul general al producției industriei românești, nivelul tehnic și al calității să fie comparabil cu cel din țările dezvoltate din punct de vedere economic. Dezvoltarea preconizată a industriei trebuie făcută în condițiile unor consumuri de materii prime și energie minime folosind pe deplin potențialul cercetării științifice proprii.

În acest context, în țara noastră s-au făcut eforturi susținute de realizare a unor mașini-unelte moderne cu grad ridicat de automatizare, în majoritate avînd introduse soluții originale rezultate din cercetări proprii. S-au diversificat tipodimensiunile mașinilor-unelte astfel încît să se acopere într-o măsură tot mai mare cerințele interne și să se realizeze disponibilități pentru export.

Pe lîngă mașinile-unelte universale s-a dezvoltat producția de mașini-unelte specializate și speciale, a celulelor flexibile etc. Creșterea gradului de automatizare s-a făcut prin introducerea tot mai frecventă a comenzilor program, numerice și în ultima perioadă a sistemelor de detecția a stării sculei și a comenzilor adaptive.

În dorința realizării orientărilor din documentele de partid,



o serie de colective de cercetare în domeniul mașinilor-unelte (de ex. ICSIT Titan - colectivele de cercetare de pe lângă catedrele tehnologice al institutelor de învățământ superior, colectivele de proiectare a întreprinderilor constructoare de mașini-unelte etc) desfășoară o vastă activitate de cercetare, proiectare și realizare a unor tipuri tot mai evoluat de mașini-unelte.

Subcolectivul de Mașini-Unelte de pe lângă catedra T.C.M a facultății de mecanică a I.P. "Traian Vuia" Timișoara, condus de peste două decenii de prof.dr.ing.E.Dodon, a contribuit la realizarea unor mașini-unelte cu comenzi adaptive colaborând în acest scop cu o serie de institute și întreprinderi interesate, desfășurând o activitate de pionerat în acest domeniu în țara noastră.

Prezenta Teză de doctorat se dorește o modestă contribuție la realizarea unor sisteme de comandă adaptivă pentru mașini de găurit, ca rod al activității în subcolectivul de Mașini-Unelte de pe lângă catedra TCM.

Autorul aduce deosebite mulțumiri conducătorului științific, prof.dr.ing.Eugon Dodon pentru îndrumarea competentă pentru răbdarea și sollicitudinea de care a dat dovadă pe toată perioada elaborării acestei teze.

De asemenea autorul mulțumește tuturor colegilor de la catedra TCM facultatea de Mecanică, de la I.I .S.Oradea și Intreprinderea Infrățirea Oradea, care au contribuit într-o formă sau alta la realizarea modelelor experimentale de comenzi adaptive și la implementarea acestora în producție.

1.2. Locul comenzilor adaptive în dezvoltarea mașinilor-unelte

Dezvoltarea industrială a unei națiuni depinde în bună măsură de nivelul de dezvoltare a industriei de mașini-unelte. Mașinile-unelte asigură prelucrarea pieselor de cele mai diferite dimensiuni și calități pe cât posibil în mod eficient. Ridicarea eficienței procesului de prelucrare reprezintă una din problemele actuale, cele mai stringente, ale constructorilor de mașini. Aprecierea eficienței procesului de prelucrare este însă relativ dificilă deoarece la aceasta concurează o serie de factori dintre care se amintesc : calitatea prelucrării (aprecierea abaterilor de formă, poziție, a rugozității suprafeței prelucrate etc.), capacitatea de producție și prețul de cost.

Pentru ridicarea eficienței s-a acționat și se acționează asupra tuturor acestor factori căutându-se în permanență îmbunătățirea acestora. Astfel se corectează legitățile proceselor de așchiere în vederea stabilirii unor regimuri de așchiere optime, se introduc în industrie scule din materiale ce admit viteze de prelucrare tot mai ridicate, se folosesc tot mai frecvent mașini cu comenzi numerice pentru realizarea precisă a ciclului cotelor, se conduce procesul de prelucrare, cu calculatorul electronic și pentru stabilirea automată a regimului de așchiere se realizează sisteme de comandă adaptivă ce funcționează pe baza informațiilor din însuși procesul de prelucrare.

Apariția mașinilor-unelte cu comenzi program a constituit un pas înainte în ceea ce privește reducerea timpilor auxiliari, creșterea siguranței în funcționare și a preciziei de prelucrare. În etapa actuală se urmărește și reducerea timpilor de bază, reducere ce poate fi obținută prin intensificarea procesului prelucrării. Una din căile acestei intensificări este și utilizarea comenzilor adaptive.

Prin comanda adaptivă (CA) a unei mașini-unelte /9/ se înțelege un sistem de reglare automată în buclă închisă a parametrilor regimului de așchiere pe baza unei strategii anterior stabilite (un algoritm) și a informațiilor provenite din procesul prelucrării în timpul desfășurării acestuia. Posibilitatea comenzii adaptive a fost demonstrată practic în R.S. România cu mai mult de 20 ani în urmă /26/, România fiind printre primele țări din lume în care s-au făcut astfel de cercetări.

Deoarece acest mod de comandă constituie cea mai modernă și științifică metodă de stabilire a regimului de așchiere se consideră că ea va avea o dezvoltare deosebită în viitor.

Dintre avantajele CA se amintesc :

1.- stabilirea unor parametri ai regimului de așchiere în condițiile în care aceștia nu pot fi calculați (de ex. la pătrunderea frezei mele în roata de prelucrat la mașini de danturat cu freză mele etc);

2.- reducerea cheltuielilor pentru stabilirea procesului tehnologic și înscrierea sa în program;

3.- reducerea sau eliminarea efectelor defavorabile a unor factori perturbatori din proces;

4.- realizarea unor regimuri cu respectarea unor restricții sau obținerea unor optime;

5.- protecția mașinii-unelte, a sculei, a piesei, a operatorului uman etc.

Optimizarea tehnologică este relativ dificilă și la ora actuală nu există industrial o mașină-unelte cu CA având optimizare perfectă pentru t , s și v /13/. Se admit metode pentru stabilirea de "optimuri" mai simple pe bază de limitări și restricții impuse operației tehnologice pe baza cărora se realizează algoritmi. În acest fel au putut fi realizate CA pentru strunguri, mașini de frezat, de găurit, de danturat, de rectificat etc.

Parametrii regimului de așchiere se aleg ca măriri de ieșire din sistem și sînt corelați, prin dependențe cunoscute, de factorii limitativi ai procesului de prelucrare.

Luarea în considerare a prea mulți factori limitativi conduce la creșterea exagerată a complexității sistemului CA pe lîngă dezavantajul, că unii dintre acestea (ca de ex. temperatura tăișului sculei, viteza de uzură etc.) sînt dificil de determinat în timpul procesului de prelucrare în condiții de atelier sau industriale.

Frecvent se măsoară forțe, momente, deformații, vibrații și puteri, folosindu-se pentru aceasta traductoare adecvate.

Clasificarea CA poate fi făcută după mai multe criterii:

După numărul parametrilor reglați /13/:

- cu un parametru;
- cu mai mulți parametrii.

După criteriul de optimizare /6/, /7/:

- costul operației de prelucrare;
- capacitatea de producție;
- respectarea unor indici de calitate (precizie dimensională, calitatea suprafeței etc);
- criterii combinate.

Tendențele actuale pe plan mondial în domeniul CA evidențiază următoarele direcții :

- realizarea unor blocuri cu caracter mai general, aplicabile pe mai multe tipuri de mașini-unelte, fapt ce conduce la micșorarea prețului de cost al CA;

- realizarea unor sisteme care pe lîngă CA să realizeze și funcții de autodiagnosticare a stării sculei;

- folosirea frecventă a calculatorului și lărgirea domeniului de aplicare a CA (de ex. la electroeroziune).

Comenzile adaptive chiar cele simple, avînd un singur parametru reglat, au importante avantaje în special la producția de serie mică și individuală.

Totuși, datorită dificultăților tehnice și tehnologice ale realizării comenzilor adaptive aceștia nu s-au răspîndit prea mult.

Perspectivile sînt însă favorabile introducerii CA la tot mai multe mașini-unelte datorită avantajelor pe care le are CA. Mai mult, realizarea unor celule flexibile, problemă importantă și la noi în țară, este practic imposibilă fără utilizarea cel puțin a unor elemente de CA.

1.3. Stadiul introducerii comenzii adaptive la mașini-unelte în R.S. România

Avînd în vedere preocupările unor cercetători și ale unor întreprinderi pentru introducerea comenzilor adaptive pe mașini-unelte, în R.S. România au fost deja realizate unele CA pentru mașini-unelte. Se amintesc :

1. Sistem de reglare automată a avansului la strunguri (CA) sub formă de instalație experimentală în 1960 /26/;

2. Sistem de CA instalat în premieră mondială pe mașina de cojit bare mici, prototip utilizat de către Intreprinderea Oțelul Roșu /63/;

3. Realizarea mașinii de danturat prin freză mole cilindrică cu sistem de CA pentru avansuri, cu denumirea modelului FD400-13CA1 asimilată în producție inclusiv prin omologarea seriei 0 la I.M.Çugir, cu caracteristicile modelului de bază FD400;

4. Sistem de CA pentru mașina de rectificat rotund exterior realizat în 1975 /85/ dezvoltat ulterior ca prototip pe mașina RE350;

5. Sisteme de reglare automată a regimului de așchiere la mașini de frezat universale /12/, /10/;

6. Sistem de protecție împotriva ruperii sculei pentru centrul de prelucrare vertical CPV-2 omologat în 1985 la Intreprinderea Infrățirea Oradea în colaborare cu ICSIT Titan București filiala Oradea /96/;

7. Sistem de CA după autovibrații la strunguri - instalație experimentală /77/.

8. Sistem de stabilirea automată a încălzirii la CA a strungurilor - instalație experimentală 1976 /89/;

9. Sistem de CA pentru avans la micromașina de găurit instalație experimentală 1979 /43/;

10. Sistem de CA pentru avans la mașina de găurit GP45-NC/AC - instalație experimentală 1981 /44/, /45/;

11. Sistem de CA pentru viteza de aşchiere la mașini de găurit și centre de prelucrare - instalație experimentală 1981 /39/.

Rezultă că la ora actuală sînt efectuate o serie de cercetări, unele finalizate sub forma de prototipuri omologate industrial fapt care dovedește eficiența economică a acestora. Majoritatea lucrărilor sînt efectuate de către Colectivul de Mașini-Unelte al catedrei T.C.M. - facultatea de Mecanică, I.P. "Traian Vuia" Timișoara, specializat în această direcție dar încep să apară și contribuții ale altor cercetători din țară.

1.4. Factorii care impun introducerea comenzii adaptive la mașina de găurit.

Găurirea este una dintre cele mai răspîndite operații de prelucrare în domeniul construcțiilor de mașini. După unii autori /70/ între 25,-35% din operații și 30% - 40% din totalul de ore-mașină efectuate într-un atelier de mărime mijlocie se referă la prelucrarea găurilor.

Diversitatea găurilor prelucrate este foarte mare atât în ceea ce privește dimensiunea și precizia cât mai ales în ceea ce privește raportul l/D (l este lungimea orificiului prelucrat, D - diametrul acestuia).

Astfel la găurirea la care $l/D \leq 5$ dar mai ales la găurirea adîncă avînd $l/D > 5$ apar dificultăți tehnologice /6/, /7/, /8/, /70/, /79/, /87/. Aceste dificultăți se referă la următoarele aspecte :

- procesul de găurire nu poate fi controlat din exterior decît în mică măsură;

- eliminarea aşchiiilor se face cu atît mai dificil cu cît adîncimea găurii prelucrate crește. Eliminarea aşchiiilor poate fi îmbunătățită de forma geometrică a sculci, de modul de circulație a lichidului de răcire ungero etc. /55/, /56/, /68/, /69/, /70/.

- stabilitatea axială a sculei este limitată datorită formei svolte a acesteia fapt care limitează avansul de pătrundere;

- deviația sculei de la axa geometrică poate duce la creșterea momentului de torsiune și chiar la ruperea sculei;

- stabilirea unor relații de calcul pentru regimul de aşchiere care să țină cont de toți factorii care influențează procesul prelucrării este dificilă, și chiar dacă s-ar putea face, o astfel de relație ar fi destul de inoperantă.

La prelucrarea găurilor adânci având $l/D > 10$ se recurge la procedee de găurire specifice pentru aceste găuri, procedee ce reclamă existența unor scule și mașini-unelte adecvate.

În majoritatea cazurilor însă, industria dispune de mașini de găurit și scule clasice și pentru a rezolva total sau parțial dificultățile tehnologice menționate se poate recurge la comanda adaptivă (CA).

Prin CA la mașina de găurit se rezolvă următoarele aspecte principale :

1. procesul de aşchiere decurge la moment de torsiune cât mai constant la burghiu. Aceasta are ca efect micșorarea timpului de bază prin încărcarea maximă a sculei sau mașinii și reducerea duratei la pătrunderea și ieșirea burghiului. Tot prin controlul momentului de torsiune se asigură evitarea ruperii sculei, sesizarea momentului când scula este uzată sau ciobită și trebuie înlocuită;

2. retragerile periodice pentru curățirea de aşchii a burghiului care în majoritate sînt stabilite funcție de cursă sau funcție de timp adică independent de deșeurile procesului de prelucrare, pot fi comandate în mod rațional prin CA. Acesta reprezintă un avantaj major al utilizării CA. Astfel, în cazul prelucrării cu burghie elicoidale normale (STAS 8157-79; 6727/76), este necesară retragerea periodică pentru curățirea de aşchii. Această retragere se execută funcție de cursă așa cum este prezentat în figura 1.1. a /70/. Aceasta creează timp auxiliari considerabil de mari. Situația se îmbunătățește dacă se dispune de burghie elicoidale cu canale late, numărul retragerilor periodice se micșorează (eliminarea aşchiilor fiind mai favorabilă) ca în figura 1.1.b. Prin CA retragerile periodice se stabilesc atunci când prelucrarea devine inefficientă (avansul reglat mai mic decît o valoare admisă).

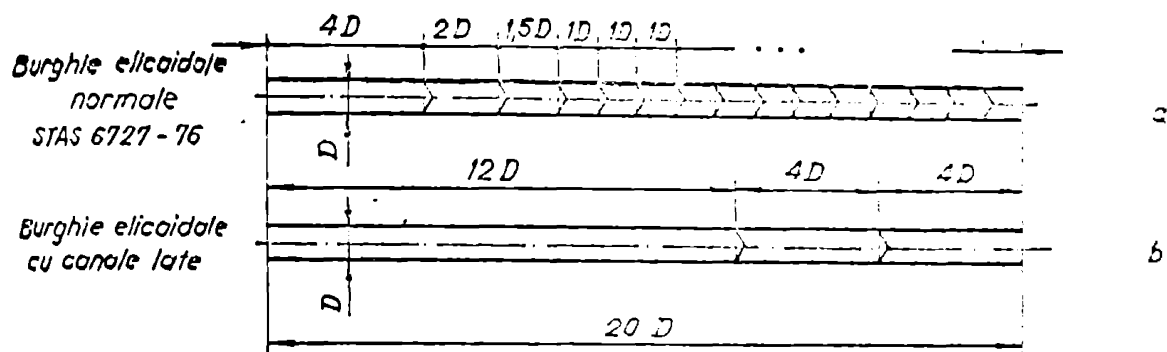


Fig.1.1. Frecvența curselor de retragere

În felul acesta momentul retragerii, și numărul retragerilor se stabilește optimal micșorându-se simțitor numărul total de retrageri periodice. După unii autori, reducerea numărului retragerilor periodice poate ajunge la 40%, /60%, /79%, /81%, /82/ și prin aceasta micșorându-se sensibil timpul auxiliari:

3. se asigură protecția mașinii (al lagărului axial al arborelui principal) și al sistemului de avans al sculei, prin controlul permanent al forței axiale și realizarea retragerii sculei dacă forța axială efectivă depășește forța axială admisă;

4. evitarea flambajului burghiului prin stabilirea forței axiale (respectiv a momentului de torsiune) la care să se asigure integritatea sculei;

5. se pot lua în considerare factorii întâmplători care influențează procesul prelucrării (de ex. neomogenități de material, variații de frecare dintre așchii, canalul burghiului și piasă etc);

6. prin combinarea CA cu CN la mașini de găurit se poate renunța parțial sau total la introducerea regimului în programul mașinii ceea ce conduce la economii în întocmirea programului.

Prin realizarea CA a avansului se caută rezolvarea aspectelor prezentate mai sus și creșterea eficienței procesului de găurire.

2. STADIUL ACTUAL AL COMENZII ADAPTIVE LA MASINA DE GAURIT

2.1. Probleme generale

Comanda adaptivă la mașinile de găurit este un domeniu relativ nou de cercetare primele referiri sînt remarcate în anul 1967. Așa cum se prezintă în /6/, /7/, /8/, /9/, /19/, /21/, /31/, /58/, /59/, etc. la ora actuală puține mașini de găurit sînt dotate cu astfel de sisteme de conducere a procesului de aşchiere. Majoritatea cercetărilor prezentate în literatura de specialitate /7/, /19/, /58/, /59/, /79/, /80/, /81/ se află în stadiul experimentărilor de laborator, deci ca realizări a unor modele experimentale.

Utilizarea crescîndă a mașinilor de găurit cu comenzi numerice a stimulat cercetările pentru folosirea comenzii adaptive, aceasta beneficiind de dezvoltarea tehnicii electronice moderne. Prin comanda adaptivă se realizează o protecție mai bună a sculei, a mașinii-unelte și o creștere importantă a capacității de producție a acesteia prin realizarea unui regim de aşchiere avantajos. Dezvoltarea comenzii adaptive s-a făcut și pentru unitățile de lucru pentru găurire adîncă, la care aceasta se dovedește mai eficientă /58/, /59/, /70/, /79/, /80/, /91/. Complexitatea procesului prelucrării la găurirea adîncă și insuficiența cunoaștere a factorilor ce influențează prelucrarea precum și a interdependenței acestora, fac ca răspîndirea comenzii adaptive la mașini de găurit să nu fie încă prea mare. Este necesară stabilirea unor algoritmi convenabile care să nu conducă la sisteme de comenzi adaptive de complexitate prea mare, costisitoare și puțin fiabile. Se remarcă, la unele sisteme prezentate în literatură, chiar unele abateri de la rezolvarea corectă a unui algoritm, și aceasta în dorința de a simplifica cît mai mult sistemul.

Majoritatea cercetătorilor din domeniul comenzii adaptive la găurire sînt de părere că conducerea procesului de prelucrare trebuie să se bazeze pe măsurarea și stabilizarea momentului de torsiune la burghiu, motiv pentru care aproape toate lucrările cunoscute pînă în prezent, îl admit ca mărime controlată

și modifică unul sau mai mulți parametri ai regimului de aşchiere în funcție de moment.

Se remarcă faptul că la unele mașini de găurit se utilizează numai sisteme de supraveghere automată a stării sculei (uzură sau rupere) /96/ ceea ce constituie o parte a unui sistem de comandă adaptivă beneficiind de sisteme de măsurare a forței și momentului din proces și de un algoritm de comparare a acestora cu valorile de referință.

2.2. Sistem de comandă adaptivă a avansului pentru o unitate de găurire

Sistemul prezentat în /19/ este realizat pentru o unitate de găurire în vederea prelucrărilor orificiilor de diametru mic (3-5 mm). Schema bloc a comenzii adaptive este prezentată în figura 2.1. iar schema hidraulică corespunzătoare în figura 2.2.

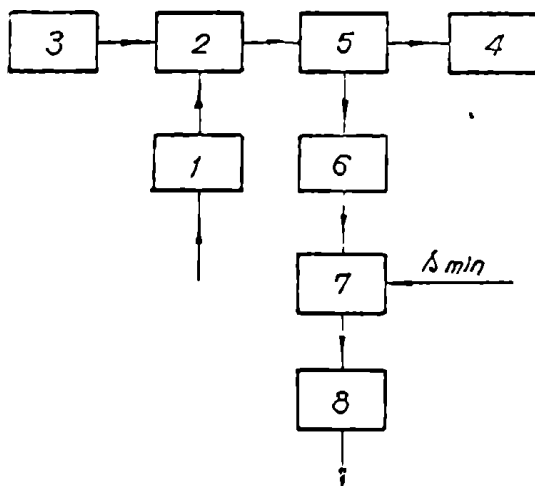


Fig. 2.1. Sistem de CA pentru o unitate de găurire

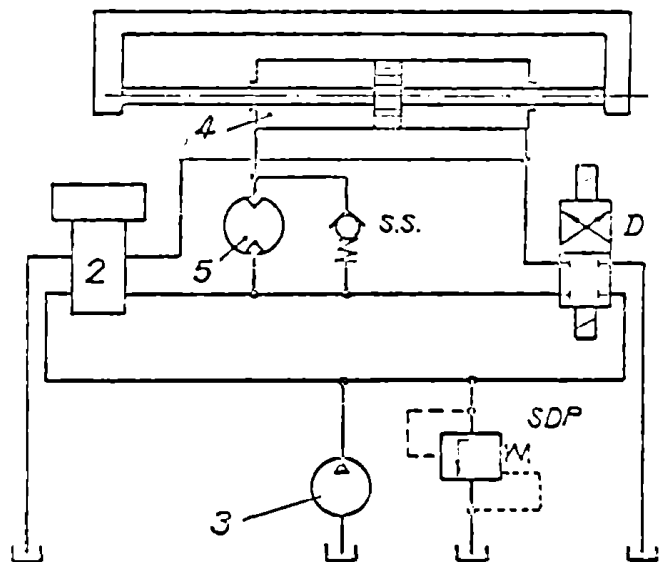


Fig. 2.2. Schema hidraulică a sistemului de CA.

Semnalul despre desfășurarea procesului de lucru este introdus în amplificatorul 1. Semnalul amplificat se utilizează la comanda amplificatorului electrohidraulic 2. Acesta este alimentat cu un debit de ulei de la pompa cu debit constant 3. Debitul de ulei reglat de către amplificatorul electrohidraulic 2 este trecut și prin hidromotorul rotativ 5 care este montat în serie cu conducta de alimentare a hidromotorului liniar 4.

Rolul hidromotorului rotativ 5 este de debitmetru, respectiv de a antrena tahogeneratorul 6 cu o turație proporțională cu debitul transmis către hidromotorul de acționare 4. Hidromotorul 4 va avea o viteză, respectiv va realiza un avans, dependent de debitul pe care îl primește. Dacă avansul din procesul de prelucrare se scade sub o valoare minimă impusă s_{\min} atunci elementul de comparare 7, (care compară avansul curent din procesul prelucrării s_c cu avansul s_{\min}) va comanda blocul de comandă al ciclului de lucru 8 și se va realiza retragerea burghiului pentru curățirea de aşchii, apoi prelucrarea reîncepe. Schema hidrostatică de acționare asigură avans rapid la pinolă (prin 2), avans de lucru și retragere rapidă (atât prin 2 cât și prin scurtcircuitarea hidromotorului rotativ datorită distribuitorului D și a supapei de sens S S).

Pentru acest sistem literatura nu prezintă cum se face conducerea procesului de prelucrare adică cine determină mărirea de intrare din amplificatorul 1, cum se măsoară momentul de torsiune sau forța axială din procesul prelucrării etc.

2.3. Sistem cu stabilizare automată a momentului de torsiune pentru găurire adâncă.

Sistemul /8/,/91/ este destinat prelucrării orificiilor de diametru mic (3 - 5 mm) fiind adaptat unei unități de lucru (agregat monoax). Schema de principiu a agregatului este prezentată în figura 2.3.

În vederea măsurării momentului de torsiune din procesul prelucrării se folosește o construcție dinamometrică pentru momentul de reacție al carcasei motorului. Motorul electric pentru antrenarea burghiului 2 are statorul 4 lăgăruit față de carcasa agregatului 3. Între stator și carcasă există arcul spiral 5, avînd momentul de torsiune comparabil cu momentul de torsiune din procesul prelucrării.

Solidar cu statorul este și sertarul 6 al unui drosel 7 de construcție specială. Statorul motorului 4 poate executa o rotație pe un anumit unghi cu limitare mecanică.

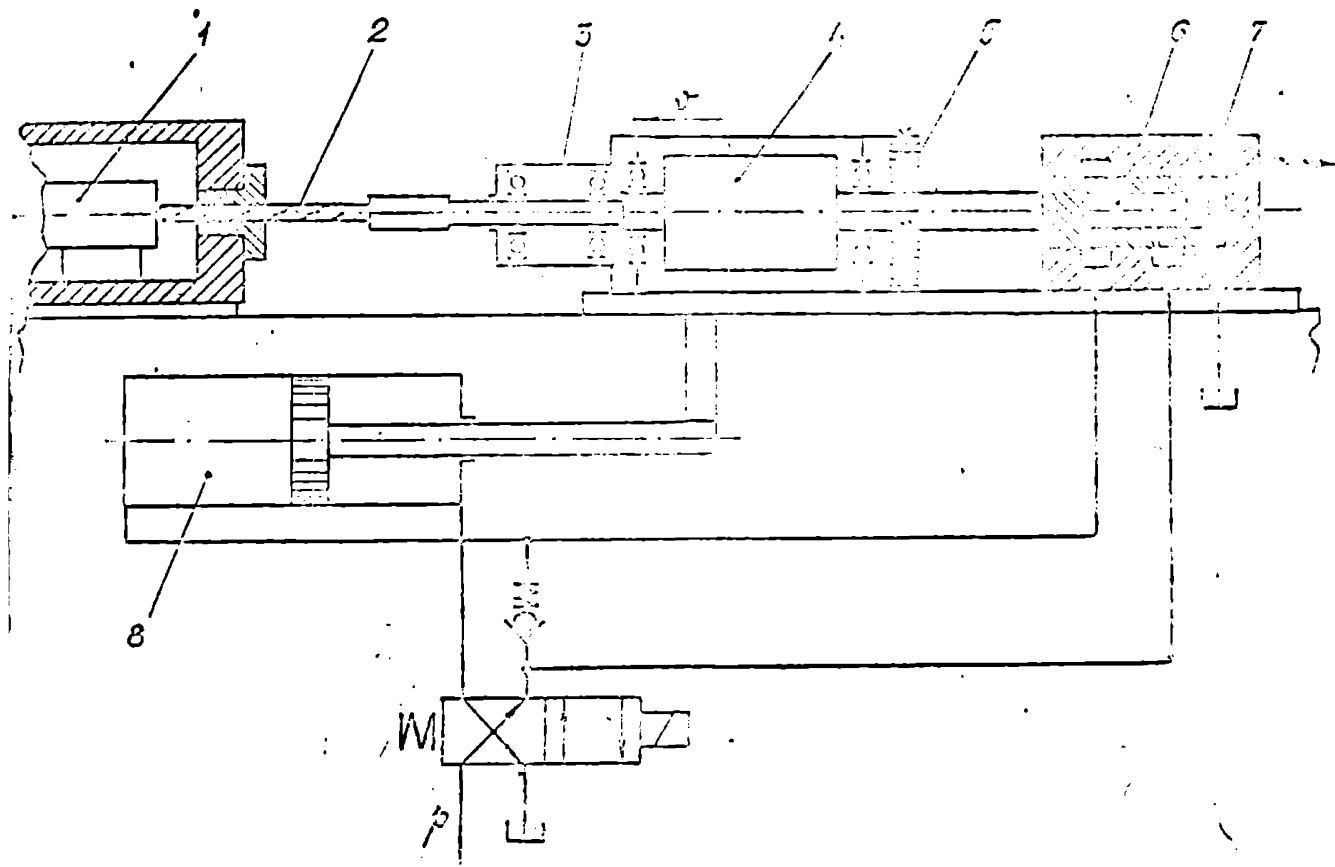


Fig.2.3. Sistem de CA pentru un agregat de găurire adâncă.

În timpul prelucrării momentul de torsiune la burghiu M_{tb} este echilibrat, prin rotația corespunzătoare a statorului 4 și tensionarea arcului 5, de către momentul de torsiune al arcului M_{ta} , stabilindu-se un echilibru între acestea pentru o anumită poziție unghiulară a statorului. Această poziție, pe care o urmărește și sertarul 6, definește un anumit debit de ulei ce străbate droselul 7, respectiv este transmis spre hidromotorul linear 8, având tija solidară cu conia unității de lucru, realizându-se un anumit avans.

Dacă există tendința modificării momentului de torsiune M_{tb} se modifică implicit și poziția lui 4, respectiv 6 și deci debitul, fapt ce are ca și consecință modificarea avansului la burghiu.

În felul acesta la creșterea momentului de torsiune M_{tb} se produce scăderea avansului și invers.

În locul droselului poate fi acționat un potențiomtru care să transforme rotația statorului într-un semnal electric care să comande o acționare electrică pentru modificarea avansului.

Din descrierea sistemului se observă că momentul de torziune M_{tb} nu se păstrează perfect constant în timpul prelucrării. Construcția dinamometrică cu arc, care permite rotirea statorului în timpul prelucrării, este de asemenea dezavantajată din punct de vedere al stabilității procesului de așchiere.

Sistemul nu este prevăzut cu posibilitatea retragerii periodice pentru curățirea de așchii atunci când avansul este atât de mic încât prelucrarea devine neeconomică. Toate acestea reprezintă dezavantaje ale sistemului prezentat.

Sisteme similare s-au realizat și pentru agregate cu mai mulți arbori principali /6/, /80/. În figura 2.4 este prezentată schema pentru un agregat cu trei arbori. În acest caz schimbarea avansului se realizează prin comanda droselului SU de către pârghia de comandă. Sistemul de măsură al momentului de torziune, individualizat pentru fiecare arbore principal, are construcție similară celui prezentat în figura 2.3.

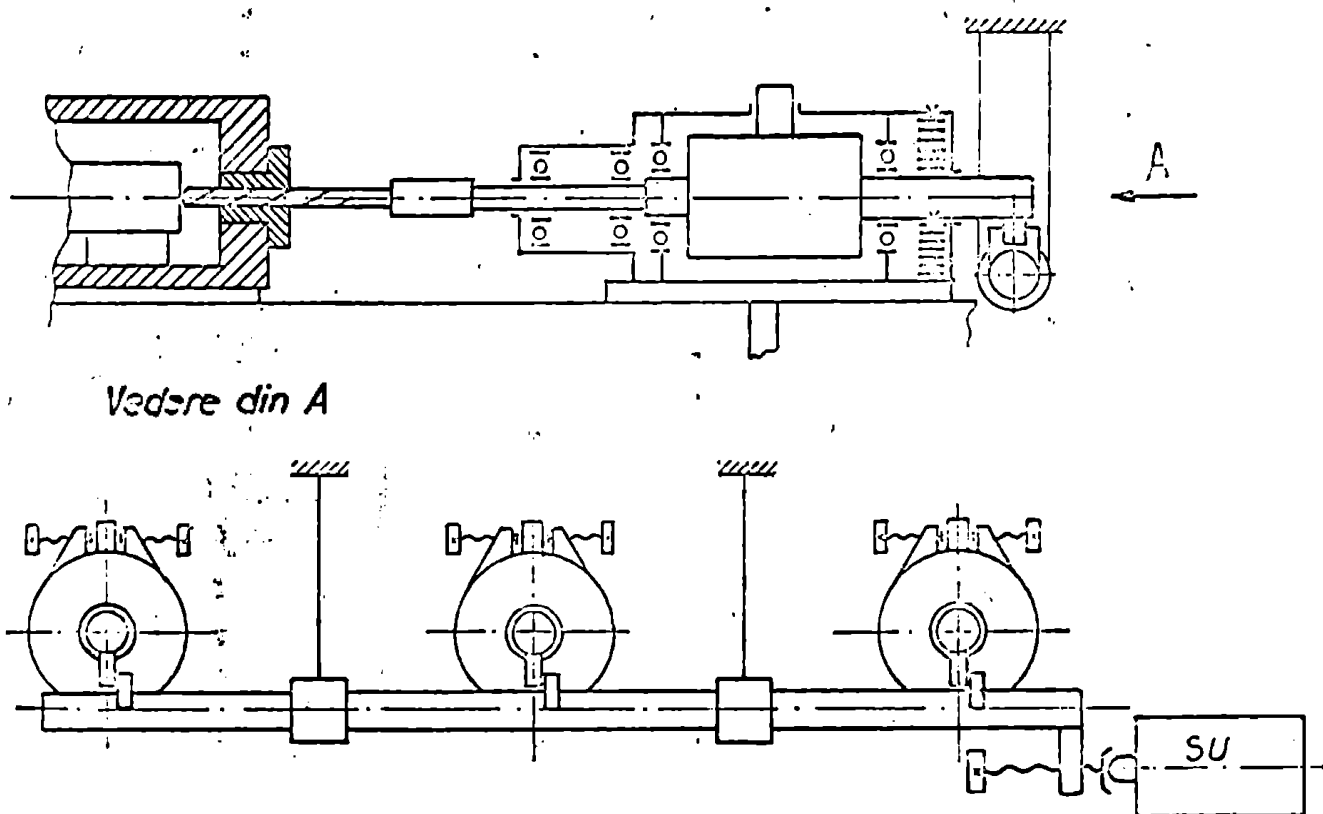


Fig.2.4. Sistem de CA pentru un agregat multi-ax.

Prin construcția aceasta se asigură comanda avansului funcție de momentul de torsiune al celui mai solicitat burghiu. Avansul este redus concomitent pentru toate burghiile. Schema hidrostatică a acționării de avans este prezentată în figura 2.5.

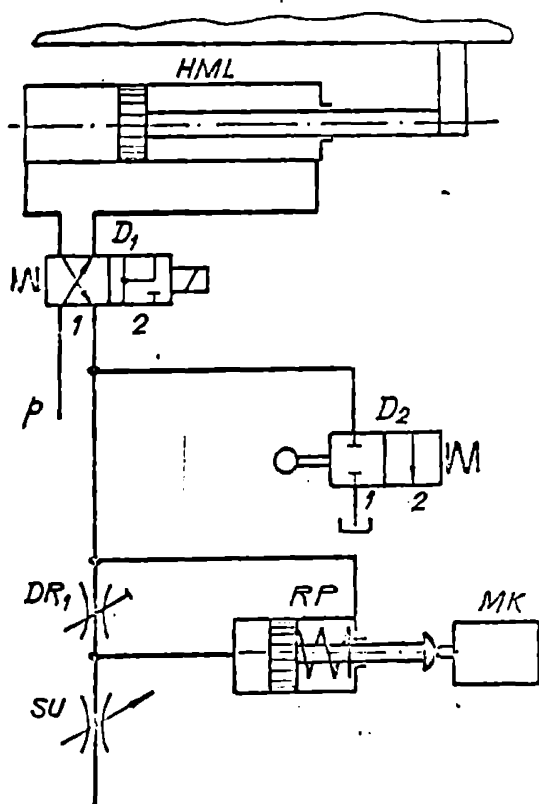


Fig.2.5. Schema hidraulică a CA a agregatului multiax.

SU funcție de momentul de torsiune din procesul de prelucrare.

Retragerile periodice se stabilesc funcție de avansul minim admis, pentru aceasta existând grupul compus din droselul DR_1 și releul de presiune RP cu comutatorul de cursă MK. Dacă debitul prin DR_1 scade sub o anumită valoare, care corespunde avansului minim admis, căderea de presiune pe acesta scade sub valoare de comutare al RP și comutatorul MK comandă retragerea burghiului pentru curățire prin comanda distributorului D_1 .

Sistemul are dezavantajele precizate anterior, mai puțin realizarea retragerilor periodice. Cu toate acestea se afirmă că prin acest mod de conducere a procesului de aşchiere s-a reușit să se crească capacitatea productivă a prelucrării de cca 2 ori concomitent cu creșterea preciziei de prelucrare și evitarea rupei burghiilor.

Ciclul de lucru care poate fi realizat este compus din apropiere rapidă, avans de lucru variabil și retrageri periodice pentru curățirea burghiului de aşchii pînă la terminarea prelucrării. Pentru apropiere rapidă, fluidul provenind de la pompă este introdus în cavitatea mică a hidromotorului liniar de avans IML, prin intermediul distributorului D_1 . Fluidul din cavitatea mare a IML este trecut la rezervor prin D_1 și D_2 (poziția 2) scurtcircuitându-se droselul DR_1 și SU. Un limitator de cursă mecanic comandă trecerea lui D_2 pe poziția 1 atunci cînd burghiul se află în vecinătatea piesei de prelucrat și se trece pe avansul de lucru comandat de

2.4. Instalație experimentală pentru găurire adâncă.

Instalația experimentată /6/, /79/ a fost adaptată unui strung în arborele căruia a fost fixată piesa de prelucrat 1 (fig.2.6) iar pe căruciorul strungului a fost amplasată acționarea principală a burghiului.

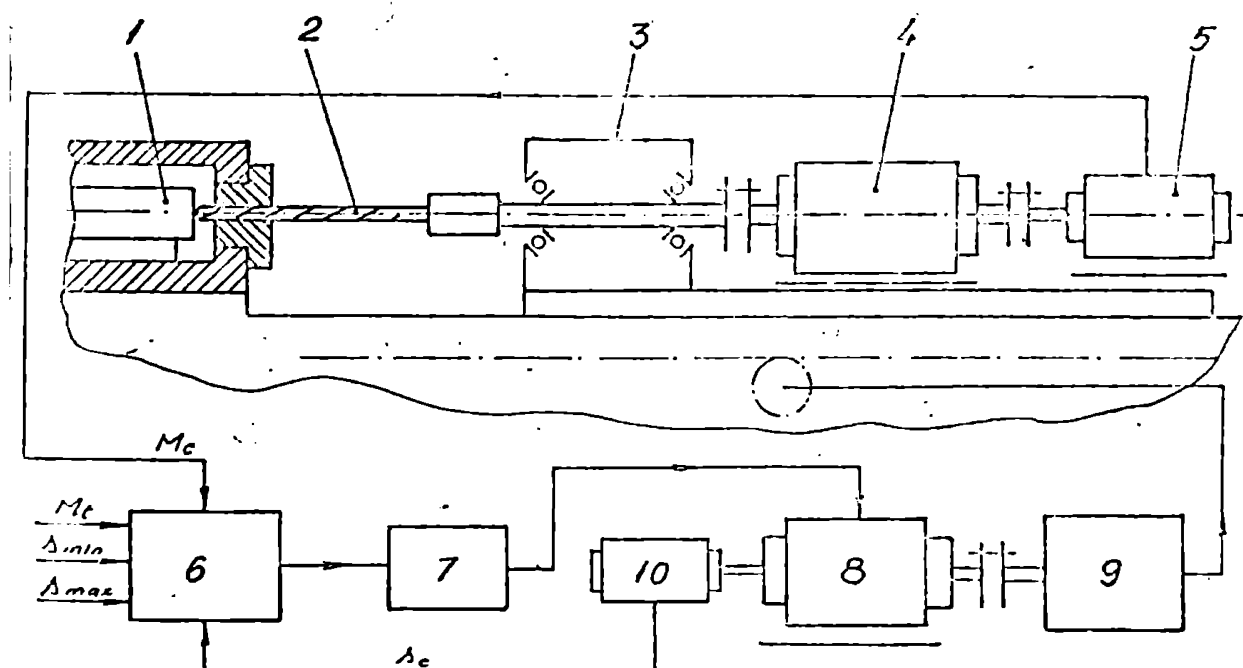


Fig.2.6. Sistem de CA pentru găurire adâncă.

Momentul de torsiune la burghiul 2 se determină prin modificarea turației electromotorului asincron trifazat 4, funcție de încărcare. Pentru aceasta se utilizează un tahogenerator 5 cuplat cinematic cu 4.

Blocul mărimilor de referință și de comparație 6 compară momentul de torsiune la burghiu M_{tb} cu momentul de torsiune de referință M_{tr} și funcție de rezultatul comparării se comandă amplificatorul magnetic 7 și respectiv electromotorul 8 de curent continuu pentru mișcarea de avans care prin intermediul reductorului 9 acționează căruciorul strungului. Turația electromotorului 8, proporțională cu avansul curent s_c , este măsurată de către tahogeneratorul 10. În blocul 6 se compară s_c cu avansul minim admis și funcție de rezultatul comparării se decide continuarea procesului de prelucrare sau oprirea acestuia

și retragerea burghiului pentru curățire de așchii.

Ciclul de lucru al instalației cuprinde fazele de apropiere cu avans maxim programat s_{max} , avans de lucru (variabil) până la atingerea valorii s_{min} , retragere rapidă pentru curățirea burghiului de așchii și reluarea prelucrării până la finalul prelucrării orificiului.

Sistemul are funcții multiple, este avantajos, dar este realizat pentru o singură turată de antrenare a burghiului, ceea ce limitează foarte mult domeniul diametrelor burghiilor, care pot fi utilizate astfel încât viteza economică de așchiere să se păstreze între limite acceptabile.

2.5. Sisteme de comandă adaptivă pentru prelucrarea găurilor adânci

Eficiența comenzii adaptive la găurire este mai ridicată în cazul prelucrării găurilor adânci. Din această cauză majoritatea încercărilor s-au făcut pentru acest gen de prelucrare.

Sistemul prezentat în /50/ se referă la prelucrarea găurilor având $L=10.000$ mm și $d=80$ mm. Conducerea procesului de așchiere s-a realizat pe baza informațiilor despre forța axială și variația acesteia în timpul prelucrării.

Comanda adaptivă caută să mențină forța axială constantă (stabilizarea forței axiale) la încărcarea maximă a mașinii, prin modificarea avansului, și să mențină oscilațiile maxime ale forței axiale din procesul prelucrării sub o limită admisibilă, nepericuloasă pentru integritatea sculei, pe baza modificării vitezei de așchiere.

Sistemul a fost instalat pe o mașină orizontală de găurit adânc și are scheme bloc prezentată în figura 2.7.

În blocul mărimilor de referință EMR sînt introduse: valoarea avansului inițial s_0 [mm/min]; valoarea vitezei de așchiere inițiale, v_0 [m/min] și mărimea amplitudinii maxime admisibile A_m a oscilației forței axiale de așchiere F_a .

Măsurarea forței axiale din proces se face cu ajutorul unor transductori magnetoelastici sau tensometrici rezistivi TF_a amplasați în suportul sculei.

Pentru faza de reglaj a mașinii, semnalul U_{F_a} servește

și ca mărime de referință pentru blocul de prescriere a forței axiale BPF_a . După terminarea reglajului legătura dintre TF_a și BPF_a încetează, iar BPF_a furnizează în continuare valoarea pentru forța axială de referință U_{Far} .

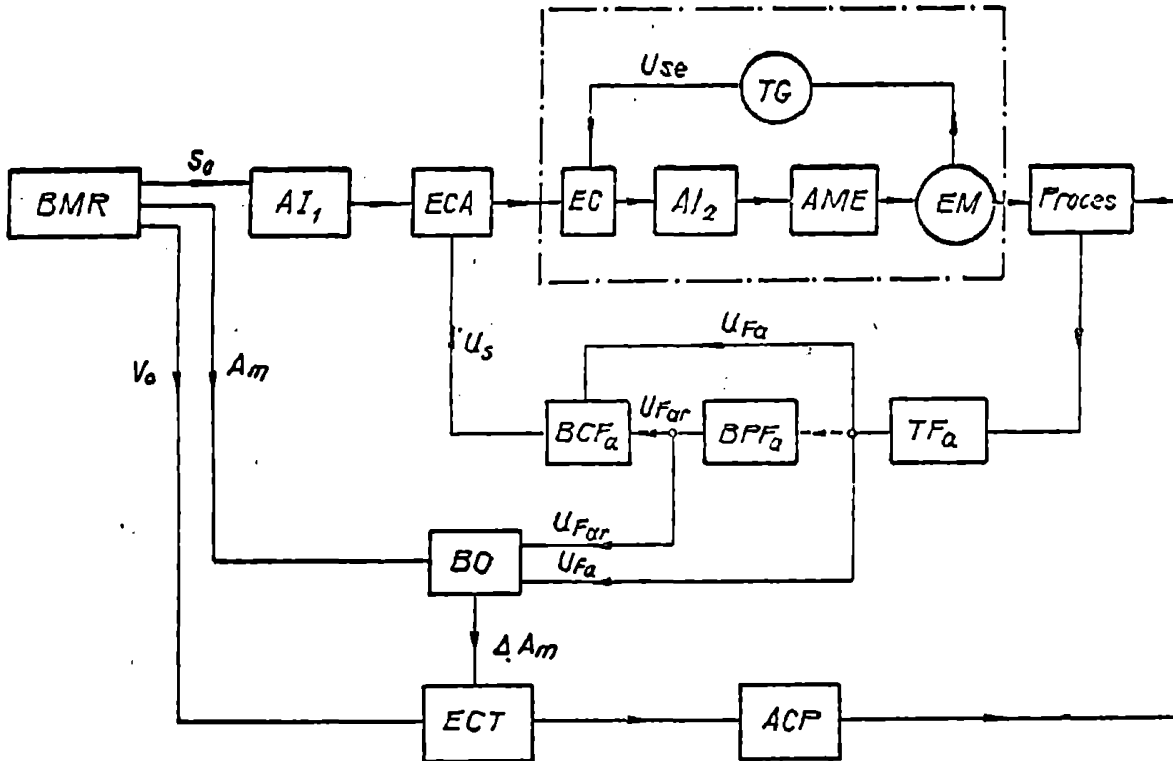


Fig.2.7. Sistem de CA pentru o mașină de găurit adânc.

În procesul de prelucrare semnalul U_{Fa} este transmis concomitent blocurilor comparatoare BCF_a (pentru forța F_a și BO (pentru oscilațiile forței F_a). Blocul BCF_a compară forța axială din proces U_{Fa} cu forța axială din referință U_{Far} și funcție de rezultatul comparării ΔU_{Fa} emite un semnal U_s . Astfel dacă

$$\Delta U_{Fa} = U_{Fa} - U_{Far} \begin{cases} > & \text{o semnalul } U_s \text{ scade, micșorându-se avansul;} \\ = & \text{o semnalul } U_s \text{ - o menținându-se constant avansul;} \\ < & \text{o semnalul } U_s \text{ crește mărind avansul.} \end{cases}$$

Avansul se modifică prin blocul de comandă al avansului ECA în sensul menținerii cât mai constante a valorii forței axiale F_a .

Elementul de reglare a avansului este constituit din

515. 508
308A

amplificatorului intermediar AI_2 și acționarea motorului AME. Turația electromotorului EM și deci avansul efectiv realizat este măsurată cu tahogeneratorul TG. Semnalul emis de TG (U_{se}) este comparat cu semnalul despre avansul necesar U_g în elementul de comparație a avansurilor EC, modificându-se avansul efectiv realizat în sensul corespondenței cu cel necesar.

Blocul B0 compară semnalul despre amplitudinea maximă admisă a oscilațiilor forței axiale A_m , prescrisă prin BMR cu amplitudinea oscilațiilor forței axiale din proces A_{me} . Valoarea A_{me} se stabilește prin :

$$A_{me} = U_{Fa} - U_{Far}$$

și deci B0 emite un semnal ΔA_m

$$\Delta A_m = A_m - A_{me}$$

funcție de care se ia o decizie în ceea ce privește modificarea vitezei (turației) de așchiere și anume :

$$\Delta A_m \begin{cases} \geq 0 & \text{turația se păstrează nemodificată;} \\ < 0 & \text{turația se modifică pentru micșorarea oscilațiilor.} \end{cases}$$

Turația se modifică prin blocul de comandă al turației BCT care comandă acționarea principală ACP.

Fără utilizarea acestui sistem de comandă, variațiile forței axiale și ale avansului pentru o modificare sinusoidală a mărinii perturbatoare y sînt prezentate în figura 2.8.

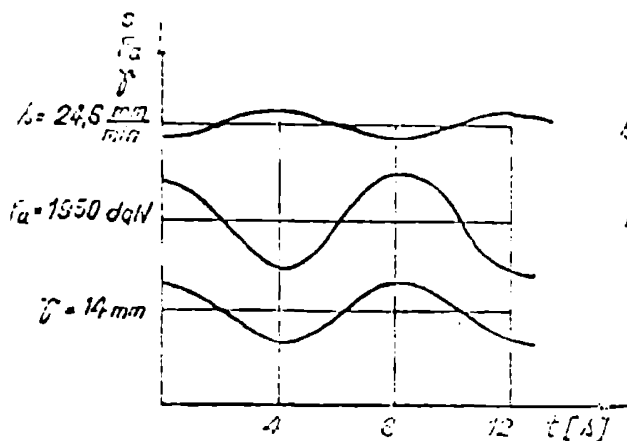


Fig. 2.8. Variația forței axiale și a avansului fără CA

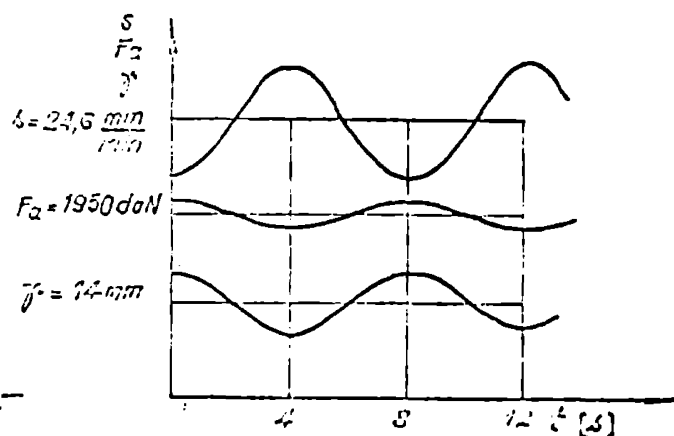


Fig. 2.9. Variația forței axiale și a avansului cu CA

Variațiile acelorși mărimi obținute prin utilizarea sistemului de comandă adaptivă descris sînt prezentate în figura 3.9.

Se observă că în linia comenzii adaptive avansul se păstrează relativ constant (în limitele dependenței turației de vîrtej, a motorului acționării de avans) existînd variații mici ale forței de aşchiere. În cazul folosirii comenzii adaptive avansul se modifică corespunzător pentru menținerea forței axiale cît mai constante.

Sistemul este complex și conform /50/ asigură creșterea capacității de producție de cea 2 ori, abaterile dimensionale se micșorează de 2...4 ori iar amplitudinea oscilațiilor forței axiale se reduce de cea 3 ori conducînd la o durată de serviciu a sculei sensibil mărită.

Acest sistem este singurul găsit în literatura de specialitate la care conducerea procesului de prelucrare se bazează în exclusivitate pe măsurarea forței axiale. Sistemul nu este prevăzut cu sisteme de retragere periodică fiind conceput special pentru o mașină de găurit adînc, care utilizează scule și sisteme adecvate eliminării continue a aşchiilor.

Un alt sistem de comandă adaptivă pentru prelucrarea găurilor adînci, dar folosind burghie cu geometrie normală, este prezentat în /9/,/58/.

O schemă bloc a sistemului este prezentată în figura 3.10.

Mărimile limitative : momentul de torsiune maxim admis la aşchiere M_{tmax} , momentul de aşchiere maxim pentru perioada de pătrundere M_{tpmax} , avansul minim s_{min} și viteza de aşchiere minimă v_{min} , se introduc în blocul mărimilor de referință BMR.

Mărimile inițiale : avansul de pătrundere s_p , viteza de aşchiere pe perioada pătrunderii v_p și momentul de torsiune de referință M_{tr} se introduc în blocul mărimilor inițiale BMI.

Pătrunderea sculei (regimul tranzitoriu) pe comandă are loc în intermediul blocului BMI care precizează valorile avansului de pătrundere s_p și a vitezei în timpul pătrunderii v_p . Regimul tranzitoriu se încheie cînd momentul de torsiune

din proces M_t devine egal M_{tr} și este comandat blocul de comandă a ciclului CC. În continuare avansul este stabilit funcție de rezultatul comparării M_t cu M_{tr} de către blocul de comandă al avansului BCA și acționarea de avans CA.

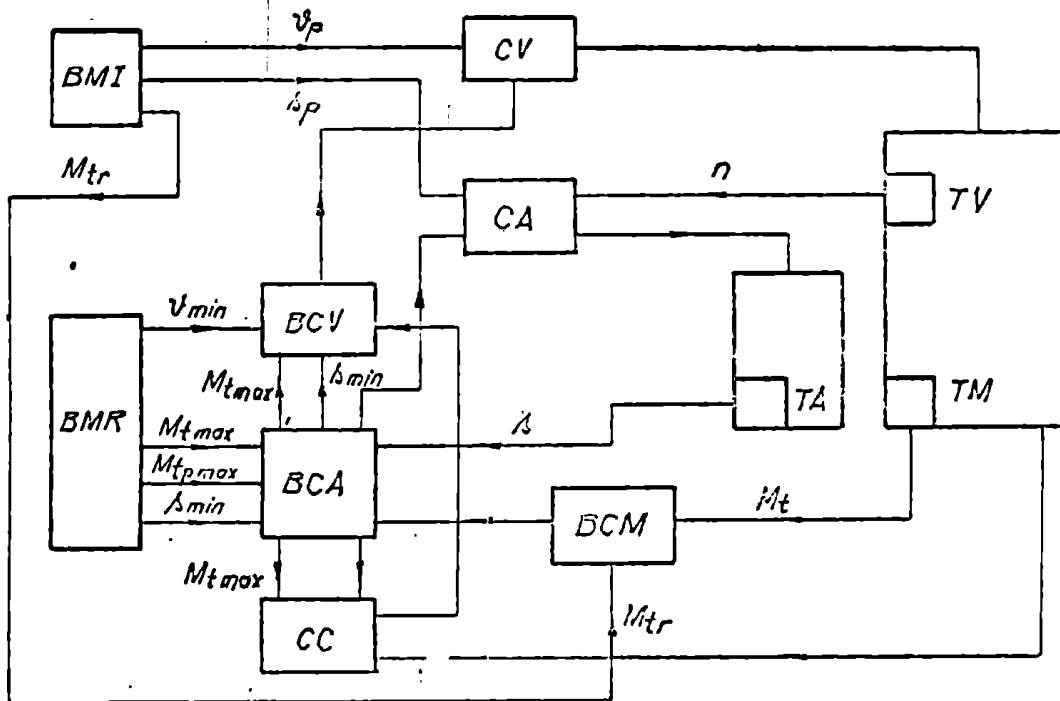


Fig.2.10. Schema bloc a unui sistem CA pentru găurire adâncă

Deoarece turația la ocolă se modifică pe măsura creșterii adâncimii prelucrate după un program prestabilit (pe principiul registrului de deplasare în elemente logice) este necesară și schimbarea vitezei de avans pentru ca avansul exprimat în mm/rot să rămână același. Pentru aceasta CA primește informație despre turația n a arborelui principal de la traductorul TV (tahogeneratorul pentru mișcarea principală).

Mărimile limitative M_{tmax} , M_{tpmax} servesc la comanda ciclului. Dacă M_t este mai mare decât acestea blocul CC oprește avansul. Valoarea s_{min} se compară cu avansul din proces s și când $s_{min} \leq s$ se comandă CC pentru retrageri periodice în vederea curățirii burghiului de așchii, apoi prelucrarea continuă.

Sistemul dispune de o compunere adecvată realizării unor cicluri complete de lucru la găurire (cu retrageri periodice) și este printre cele mai complexe prezentate în literatura de specialitate.

În ultimii ani (1981-84) au apărut câteva mașini de găurit cu comenzi adaptive dar asupra cărora s-au dat foarte puține informații.

Se amintesc, mașina de găurit pentru găuri mici cu CA de optimizare a firmei Black and Decker - USA, /97/ce dispune de o acționare principală electrică cu motor de curenț continuu și reglaj electronic al turației.

Ca date inițiale se introduc : diametrul burghiului, lungimea găurii, felul materialului de prelucrat și avansul inițial. Se realizează reglarea turației arborelui principal.

Mașina vizualizează momentul în care este necesară scoaterea burghiului din găură pentru curățire de așchii.

Sistemul CA la găurire al firmei Makino Milling Machine Co Ltd Tokio în colaborare cu Fujitsu Fanuc Ltd Tokio /64/.

Sistemul este montat pe un centru de prelucrare tip MCC 100 AC.

Se măsoară momentul de torziune din proces. Ca date inițiale se dau diametrul sculei, momentul de torziune optim și durabilitatea sculei. Se reglează avansul din 0,5 în 0,5 s comparându-se momentul de torziune din proces cu cel optim și calculându-se un coeficient de corecție al avansului. Dezavantajul major, datorită căruia sistemul nu s-a impus este dificultatea stabilirii momentului de torziune optim, care este lăsat în sarcina utilizatorului.

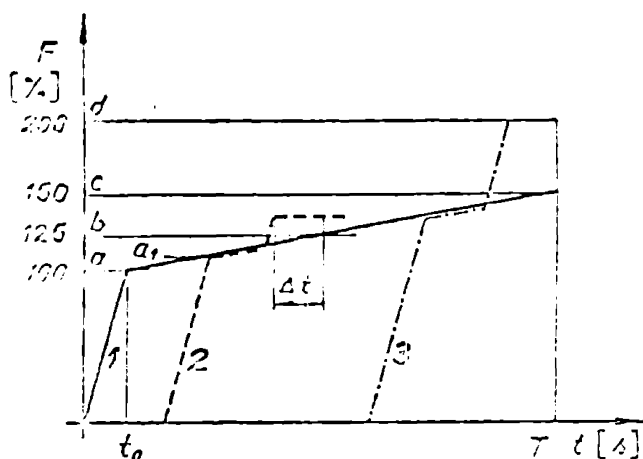
2.6. Sisteme pentru supravegherea stării burghiului.

În ceea ce privește sistemele de supraveghere a uzurii și ruperii sculelor se remarcă sistemul firmei DIAC Fritz Weiner Berlin /48/.

Sistemul este parțial adaptiv dar mai simplu și mai ieftin. Se obține doar o avertizare asupra necesității schimbării sculei uzate sau rupte.

Sistemul dispune de un automat programabil care nu necesită programarea forței sau momentului, ci analizează modificarea în timp a acestora față de valorile inițiale și ia o decizie corespunzătoare. Frecvent, ca mărime controlată se admite forța axială (care este mai ușor de determinat în

proces) a cărei variație în timp poate fi ca cea prezentată în figura 2.11 /39/. Sînt evidențiate următoarele praguri :



- a - forța de referință la începutul procesului (sculă nou ascuțită);
- b - forța corespunzătoare apariției microrupturilor
 $b = 1,25 a$;
- c - forța corespunzătoare uzurii avansate. $c = 1,5 a$

Fig. 2.11. Variația forței axiale în timp

În afară de acestea se mai pot lua în considerare pragurile:

- a_1 - forța de referință la sculă parțial uzată
- d - forța corespunzătoare ruperii sculei ($d = 2a$)

Variațiile forței axiale din proces pentru cazurile :

- 1 - uzură normală
- 2 - apariția microrupturilor
- 3 - ruperea totală

sînt prezentate în figura 2.11 prin curbele 1, 2 și respectiv 3

Diagramole sînt valabile pentru cazul prelucrării cu avans constant. Valoarea a este multiplicată cu 1,25 și 1,5. Valorile respective sînt memorate devenind valori de referință pentru forța axială.

Se compară valoarea din proces cu valorile de referință pentru un anumit timp Δt pentru cazurile 1 și 2 și se semnalizează depășirile.

În cazul 3 se oprește imediat avansul.

Principalul avantaj al sistemului este că nu necesită calcule sau alt sistem de programare a valorilor de referință, acestea lîfîndu-se chiar din proces.

Sistemele sînt relativ simple, ieftine și eficiente deși nu rezolvă problema de bază a CA.

Sisteme similare sînt prezentate în /51/, /105/.

2.7. Concluzii

Din cele prezentate rezultă că pe plan mondial și la noi în țară, se desfășoară o serie de cercetări pentru realizarea unor comenzi adaptive la mașini de găurit. Majoritatea statelor utilizează ca mărime controlată momentul de torsiune la burghiu care se compară în permanență cu momentul de torsiune din proces. Funcție de rezultatul comparării se comandă în special avansul și mai rar viteza de așchiere. Sistemele prezentate în paragrafele 2.2; 2.3; 2.4, sînt modele experimentale iar cele din 2.5, sînt realizate și sub forma unor mașini fabricate curent și existente pe piața mondială.

În general se tratează puțin modul de realizare a retrogerilor periodice și a limitării avansului la pătrunderea burghiului cînd momentul de torsiune este mic în comparație cu momentul de referință.

Se remarcă realizarea sub formă industrială a unor sisteme de supraveghere a stării sculelor (parțial adaptive). Aceste sisteme sînt mai simple, se realizează la prețuri mai reduse și echipează în special mașinile cu CN. Un astfel de sistem a fost omologat și la noi în țară /96/, conducătorul științific, subsemnatul împreună cu ing. Ganea M. de la ICSIT-Titan fil. Oradea și ing. Kőles J. de la I.P.T.V.T, fiind de fapt autorii realizării acestuia în variantă industrială.

Utilizarea în viitor a microprocesoarelor va putea contribui la realizarea de comenzi adaptive la prețuri acceptabile.

Corințele pe care trebuie să le îndeplinească o mașină de găurit în vederea instalării unei comenzi adaptive sînt:

- Să dispună de acționare continuă cel puțin pentru mișcarea de avans, pentru o servocomandă mai simplă a verigii reglabile;

- Să dispună de componente pentru măsurarea momentului de torsiune, a forței axiale și eventual a avansului, a turației, a puterii de așchiere etc. și indiscutabil fără afectarea sensibilă a rigidității mașinii;

- Să dispună de sisteme de ghidare precise, construcție rigidă etc.

In fine, se remarcă faptul, că la ora actuală nu s-au impus pe piață mașini cu comenzi adaptive având algoritme de optimizare complicate atât datorită dificultăților de stabilire a unor asemenea algoritme, cât și din cauza costurilor ridicate încă, impuse de partea de calcul.

3. REGIMUL DE AȘCHIERE LA GĂURIRE

3.1. Analiza metodelor actuale de stabilire a parametrilor regimului de așchiere la găurire.

Pentru determinarea parametrilor regimului de așchiere la găurire se stabilesc conform /65/, /69/, tipul sculei așchietoare, adâncimea de așchiere, avansul pe rotație s sau avansul pe dinte s_d , viteza de așchiere v , forțele și momentele ce apar în procesul prelucrării și puterea necesară. La stabilirea tipului sculei o deosebită importanță o are diametrul orificiului de prelucrat D precum și raportul l/D în care l este adâncimea orificiului de prelucrat. Recomandările /70/ prezentate în figura 3.1 și 3.2 indică domeniile de utilizare și limitele diferitelor procedee.

Din figuri se observă că majoritatea prelucrărilor uzuale avînd diametre între 0,063 - 100 mm și raportul l/D max 10...25 se pot realiza cu burghie elicoidale normale sau speciale. Din această cauză se va face o analiză a modalităților de stabilire a regimului la prelucrarea cu astfel de burghie.

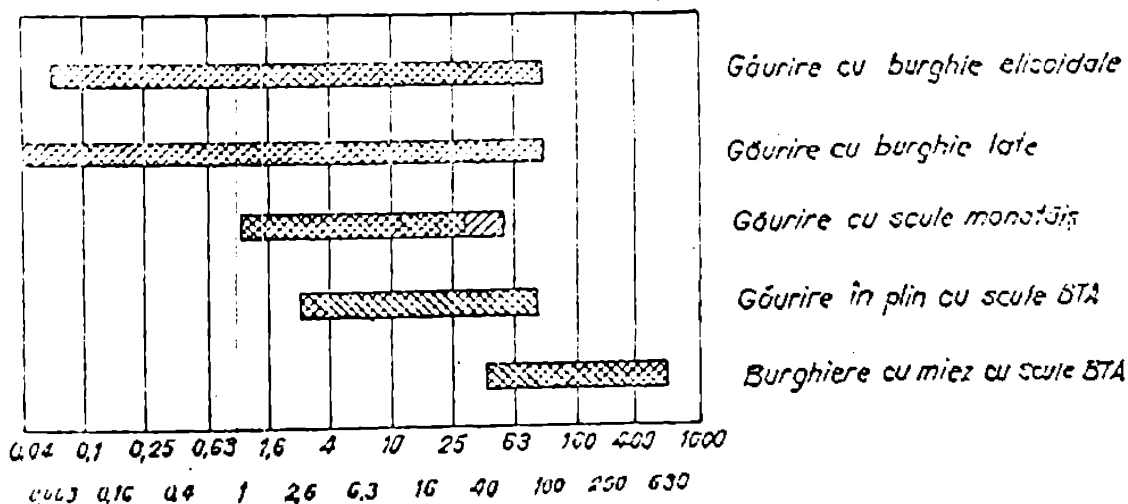


Fig. 3.1. Domenii de utilizare a procedeelelor de găurire funcție de diametru.

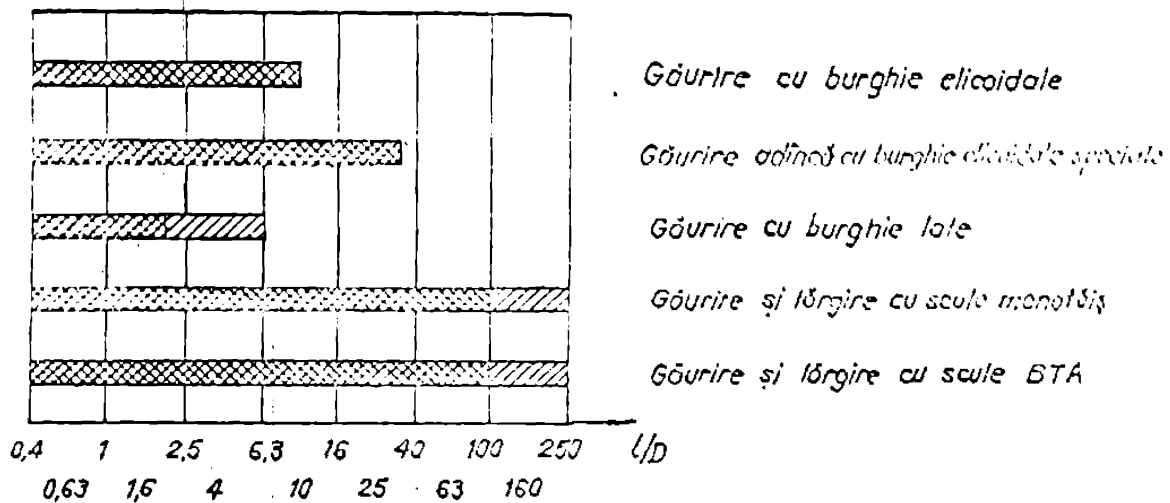


Fig. 3.2. Domenii de utilizare a procedeelor de găurire funcție de raportul l/D .

3.1.1. Regimul de așchiere la găurirea cu burghie elicoidale

Avansul la găurire se poate stabili funcție de:

- a - calitatea suprafeței și precizia găurii prelucrate;
- b - rezistența burghiului;
- c - rigiditatea sistemului tehnologic elastic al mașinii-unelte - dispozitiv - sculă - piesă;
- d - rezistența mecanismului de avans, al lagărelor arborelui principal etc.

Cel mai frecvent se adoptă cazul a, în această situație avansul se determină [65] cu o relație de forma:

$$s = K_D \cdot C_s \cdot D^{0,6} \quad [mm/rot] \quad (3.1)$$

în care:

K_D este un coeficient de corecție funcție de adâncimea găurii (pentru $l > 3D$)

C_s - coeficientul de avans ce depinde de felul materialului prelucrat și de felul prelucrării.

Aplicând această relație s-au determinat avansurile pentru prelucrarea găurilor în câteva materiale și condiții de prelucrare. Rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.1. Influența adâncinii găurii prelucrate la stabilirea avansului este prezentată în diagrama din figura 3.3.

Măsurători de precizie

Name-trul burg. D. mm]	Ofel HU < 160			Ofel HS 160-240			Ofel HS 240-300			Ofel HS > 300			Fontă HS < 170			Fontă HS > 170			Neferose moi			Neferose dure					
	Precizia prelucrării																										
	mică	medie	mare	mică	medie	mare	mică	medie	mare	mică	medie	mare	mică	medie	mare	mică	medie	mare	mică	medie	mare	mică	medie	mare	mică	medie	mare
1	0,223	0,165	0,110	0,165	0,123	0,081	0,121	0,100	0,074	0,054	0,037	0,251	0,167	0,126	0,151	0,112	0,075	0,326	0,251	0,164	0,251	0,223	0,341	0,255	0,177		
3	0,164	0,122	0,081	0,122	0,091	0,060	0,089	0,073	0,054	0,037	0,037	0,251	0,167	0,126	0,151	0,112	0,075	0,326	0,251	0,164	0,251	0,223	0,341	0,255	0,177		
5	0,223	0,165	0,110	0,165	0,123	0,081	0,121	0,100	0,074	0,054	0,037	0,251	0,167	0,126	0,151	0,112	0,075	0,326	0,251	0,164	0,251	0,223	0,341	0,255	0,177		
8	0,296	0,219	0,146	0,219	0,164	0,108	0,160	0,132	0,098	0,066	0,066	0,453	0,336	0,226	0,272	0,202	0,136	0,582	0,453	0,296	0,453	0,296	0,453	0,339	0,226		
10	0,338	0,251	0,167	0,251	0,187	0,123	0,183	0,151	0,111	0,076	0,076	0,518	0,386	0,259	0,311	0,231	0,155	0,676	0,518	0,338	0,518	0,338	0,518	0,386	0,259		
15	0,432	0,320	0,213	0,320	0,238	0,157	0,234	0,193	0,142	0,096	0,096	0,660	0,492	0,330	0,396	0,294	0,198	0,864	0,660	0,432	0,660	0,432	0,660	0,492	0,330		
20	0,513	0,380	0,253	0,380	0,284	0,187	0,278	0,229	0,169	0,120	0,120	0,784	0,585	0,392	0,470	0,350	0,235	1,026	0,784	0,513	1,026	0,513	0,764	0,595	0,392		
25	0,586	0,435	0,290	0,435	0,324	0,214	0,317	0,262	0,193	0,131	0,131	0,897	0,669	0,449	0,538	0,400	0,269	1,172	0,897	0,586	1,172	0,586	0,897	0,669	0,449		
30	0,654	0,485	0,323	0,485	0,362	0,239	0,354	0,292	0,216	0,146	0,146	1,000	0,747	0,500	0,600	0,445	0,300	1,308	1,000	0,654	1,308	0,654	1,000	0,747	0,500		
35	0,717	0,532	0,354	0,532	0,397	0,262	0,386	0,321	0,236	0,160	0,160	1,097	0,819	0,549	0,658	0,490	0,329	1,434	1,097	0,717	1,434	0,717	1,097	0,819	0,549		
40	0,777	0,576	0,354	0,576	0,430	0,264	0,421	0,348	0,256	0,174	0,174	1,183	0,887	0,594	0,713	0,530	0,357	1,554	1,183	0,777	1,554	0,777	1,183	0,887	0,594		
45	0,834	0,618	0,352	0,618	0,461	0,304	0,451	0,373	0,275	0,187	0,187	1,277	0,952	0,636	0,766	0,569	0,383	1,668	1,277	0,834	1,668	0,834	1,277	0,952	0,636		
50	0,859	0,659	0,329	0,659	0,491	0,324	0,481	0,397	0,293	0,199	0,199	1,359	1,014	0,680	0,816	0,600	0,408	1,778	1,359	0,859	1,778	0,859	1,359	1,014	0,680		
55	0,941	0,697	0,355	0,697	0,520	0,343	0,509	0,421	0,310	0,210	0,210	1,440	1,074	0,720	0,864	0,612	0,432	1,852	1,440	0,941	1,852	0,941	1,440	1,074	0,720		
60	0,991	0,735	0,450	0,735	0,548	0,362	0,536	0,443	0,320	0,222	0,222	1,516	1,133	0,768	0,910	0,677	0,455	1,982	1,516	0,991	1,982	0,991	1,516	1,133	0,768		

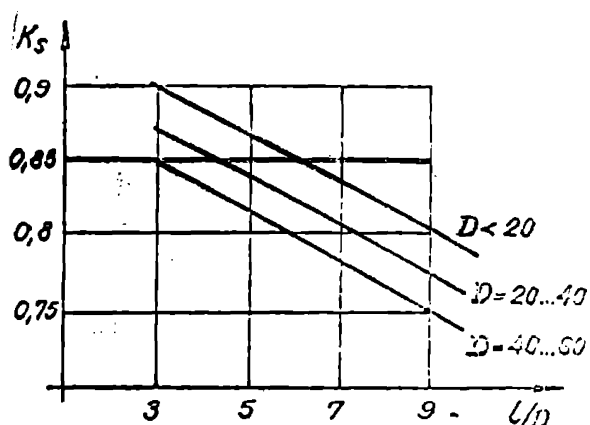


Fig. 3.5. Variația coeficientului K_s

Uncori /65/, /88/ avansul de găurire este prezentat tabelar funcție de D și de materialul de prelucrat. Un exemplu este tabelul 3.2 preluat din /88/.

În cazul prelucrării găurilor folosind burghie armate cu plăcuțe dure și avînd canale elicoidale sau drepte, valorile avansurilor sînt de obicei indicate tabelar ca de exemplu în tabelul 3.3 /65/.

Tabelul 3.2

Diametrul burghiului D [mm]	Avansul s			
	Oțel		Fontă și aliaje neferoase	
	$\sigma_r < 100 \text{ daN/mm}^2$ [mm/rot]	$\sigma_r > 100 \text{ daN/mm}^2$ [mm/rot]	HB < 200 [mm/rot]	HB > 200 [mm/rot]
4-6	0,10 - 0,18	0,08 - 0,10	0,1 - 0,2	0,18 - 0,22
6-8	0,13 - 0,22	0,11 - 0,13	0,22 - 0,23	0,22 - 0,25
8-10	0,17 - 0,28	0,13 - 0,17	0,47 - 0,57	0,28 - 0,34
13-16	0,22 - 0,37	0,18 - 0,22	0,61 - 0,75	0,37 - 0,45
16-20	0,26 - 0,43	0,21 - 0,25	0,70 - 0,86	0,43 - 0,53
20-25	0,29 - 0,47	0,23 - 0,29	0,78 - 0,96	0,47 - 0,57
25-30	0,32 - 0,55	0,27 - 0,33	0,80 - 1,10	0,54 - 0,66
30-60	0,40 - 0,70	0,30 - 0,40	1,00 - 1,20	0,70 - 0,85

Grupa de avansuri conform tabelului 3.3 se referă la rigiditatea, toleranțele de execuție și felul prelucrării ulterioare a găurii realizate.

Avansul la găurire poate fi stabilit conform /55/ funcție de rezistența burghiului cu o expresie de forma:

$$s = \sqrt{\frac{y_M}{1,73 \cdot c_M \cdot c} \cdot \frac{0,02D^{3-x_M} \sigma_r}{c}} \quad [\text{mm/rot}] \quad (3.2)$$

în care :

Tabelul 3.3

Avansul A							
Diametrul burghiului D	Oțeluri călite cu duritatea HRC			Fontă cu duritatea HB			
				≤ 200		> 200	
	35-45	45-57	57-60	Grupa de avansuri			
[mm]	[mm/rot]	[mm/rot]	[mm/rot]	I	II	I	I
				[mm/rot]	[mm/rot]	[mm/rot]	[mm/rot]
6	0,040	0,025	0,020	0,15-0,20	0,10-0,15	0,10-0,15	0,10-0,15
10	0,050	0,035	0,030	0,30-0,40	0,20-0,25	0,20-0,25	0,15-0,20
16	0,070	0,055	0,045	0,40-0,50	0,30-0,35	0,30-0,35	0,25-0,30
20	0,085	0,065	0,050	0,50-0,60	0,40-0,45	0,40-0,45	0,30-0,35
25	0,100	0,075	0,060	0,60-0,70	0,45-0,50	0,45-0,50	0,36-0,40
30	0,120	0,090	0,070	0,70-0,80	0,50-0,60	0,50-0,60	0,40-0,45

C_M este coeficient din expresia de calcul a momentului de torsiune la găurire;

$x_M; y_M$ - exponenți din expresia de calcul a momentului de torsiune la găurire;

σ_r - efortul unitar la burghiu;

c - coeficient de siguranță

Admițind $c = 2,5$ pentru oțel și $c = 4$ pentru fontă iar $\sigma_r = 210 \text{ daN/mm}^2$ pentru burghie confecționate din oțel rapid se pot determina valorile avansurilor oțelului cu HB= 150 și a fontei cu HB = 200. (conform tabelului 3.4.)

Viteza de aşchiere se stabileşte cu o relație de forma:

$$v = \frac{C_v D^{z_v}}{T^m S^{y_v}} K_{vp} \text{ [m/min]} \quad (3.3)$$

în care:

C_v este coeficient din expresia vitezei, iar

$y_v; z_v$ - exponenți funcție de materialul prelucrat;

T - durabilitatea economică funcție de diametrul burghiului;

m - exponentul durabilității;

K_{vp} - produsul unor coeficienți pentru factorii ce influențează procesul.

Valorile acestora sînt indicate în literatură /45/, /51/, /86/.

Tabelul 3.4

Avansul s					
Diametrul burghiu D	Materialul de prelucrat		Diametrul burghiu D	Materialul de prelucrat	
	Oțel HB=150	Fontă HB=200		Oțel HB=150	Fontă HB=200
[mm]	[mm/rot]	[mm/rot]	[mm]	[mm/rot]	[mm/rot]
1	2	3	1	2	3
3	0,063	0,046	30	1,114	1,08
5	0,119	0,092	35	1,351	1,34
8	0,214	0,176	40	1,596	1,61
10	0,282	0,239	45	1,85	1,89
15	0,468	0,418	50	2,11	2,19
20	0,671	0,621	55	2,39	2,49
25	0,887	0,843	60	2,65	2,81

Forțele și momentele din procesul prelucrării (56/,/65/, /98/, stabilesc cu relații de forma :

$$F_a = C_F D^{x_F} s^{y_F} (HB^n) \quad [\text{daN}] \quad (3.4)$$

$$M_t = C_M D^{x_M} s^{y_M} (HB^n) \quad [\text{daN.mm}] \quad (3.5)$$

în care:

C_F ; C_M - coeficienți pentru forța axială și momentul de torsiune iar

x_F ; y_F ; x_M ; y_M ; n - exponenți funcție de materialul prelucrat

HB - duritatea materialului prelucrat

Pentru oțel și fontă și mai rar pentru alte tipuri de materiale sînt indicate unele formule simplificete.

Pentru oțel /56/ indică :

$$F_a = 65 \cdot D \cdot s^{0,75} \quad [\text{daN}] \quad (3.6)$$

$$M_t = 26,2 \cdot D^2 \cdot s^{0,75} \quad [\text{daN.mm}] \quad (3.7)$$

Pentru fontă

$$F_a = 35 \cdot D \cdot s^{0,67} \quad [\text{daN}] \quad (3.8)$$

$$M_t = 14 \cdot D^2 \cdot s^{0,67} \quad [\text{daN.mm}] \quad (3.9)$$

După /98/ pentru oțel

$$F_a = 84,7 \cdot D \cdot s^{0,7} \quad [\text{daN}] \quad (3.10)$$

$$M_t = 33,8 D^{1,8} s^{0,8} \quad [\text{daN}\cdot\text{mm}] \quad (3.11)$$

Relații similare cu unele mici deosebiri sînt prezentate și în /3/, /39/, /72/, /99/.

Desigur, relațiile prezentate dau valori mai mult sau mai puțin apropiate de valoarea reală, diferențele fiind după /39/ cuprinse între -27%...25%. Relațiile nu țin cont de măsurimile perturbatoare din proces, adică valorile corespund începutului procesului de prelucrare cu burghiul neuzat, corect ascuțit și avînd geometria apropiată de cea ideală.

3.1.2. Regimul de așchiere la găurirea adîncă folosind scule speciale.

La prelucrarea găurilor adînci prin diferite procedee de prelucrare, se stabilesc valori ale avansurilor și vitezelor adecvate metodei respective. Valorile diferă considerabil între ele, dar în general se lucrează cu avansuri mai mici și viteze de așchiere mai mari. Aceasta din necesitatea realizării unor așchii subțiri, care să se poată transporta cu ușurință din zona prelucrată spre exterior (prin interiorul sau exteriorul sculei).

În cazul prelucrării găurilor adînci cu scule speciale (monotăiș, scule B T A etc.) recomandările privind alegerea avansurilor sînt destul de puține în literatura de specialitate. Această situație se datorește și răspîndirii mai reduse a acestor genuri de scule, deși cu importante avantaje la prelucrarea găurilor avînd $l/D > 10$. În diagrama din figura 3.4 este prezentată variația orientativă a avansului funcție de diametru pentru scule cu un tăiș și evacuare exterioară a așchiilor (curba 3) și pentru scule BTA (curba 4) la prelucrarea unui material de tipul OLC-45 /70/, iar în tabelul 3.5. unele recomandări pentru stabilirea regimului la lucrarea cu burghie late /70/

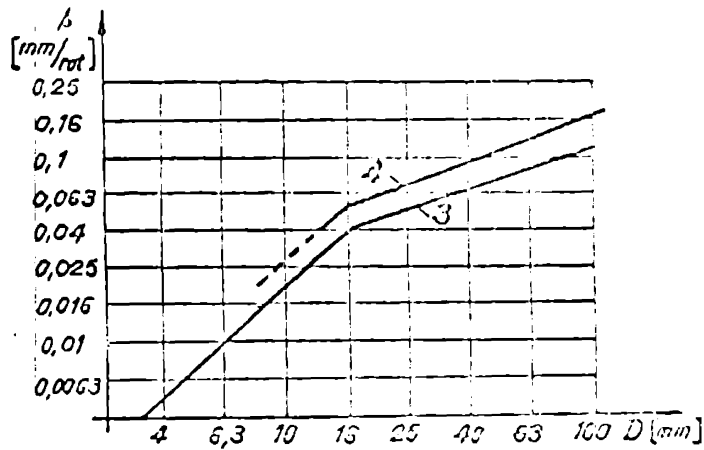


Fig. 3.4. Variația avansului pentru așchiere monotăci.

Tabelul 3.5

Diametrul burghiu D	Avansul f_s				
	Materiialul de prelucrat				
	Oțel carbon C < 0,4 %	Oțel carbon C > 0,4 %	Oțel de îmbunătățire $H_r > 80$ dur/mm ²	Fontă cenușie mole	Fontă cenușie dură
[mm]	[mm/rot]	[mm/rot]	[mm/rot]	[mm/rot]	[mm/rot]
25	0,2	0,16	0,12	0,25	0,16
31,5	0,2	0,2	0,16	0,31	0,20
40	0,25	0,25	0,20	0,40	0,20
50	0,31	0,25	0,25	0,50	0,25
63	0,31	0,31	0,25	0,50	0,31
80	0,4	0,31	0,25	0,50	0,40
100	0,5	0,4	0,31	0,32	0,50
125	0,5	0,4	0,40	0,25	0,50

$v = 20$ m/min $v = 16$ m/min $v = 12,5$ m/min $v = 25$ m/min $v = 10$ m/min

3.1.3. Observații asupra metodologiei actuale de stabilire a parametrilor regimului de așchiere la găurire

Din analiza metodologiei actuale prezentate anterior se pot face unele observații cu privire la stabilirea regimului de așchiere la găurire.

a. Regimul se poate stabili pe baza unor relații experimentale sau tabele, a căror aplicabilitate depinde de identitatea condițiilor concrete de prelucrare față de cele în care

s-au stabilit relațiile și s-au efectuat experimentările.

b. Parametrii regimului diferă substanțial chiar pentru aceleași date inițiale, doar folosind metode diferite de calcul sau autori diferiți. Astfel, comparându-se valorile avansurilor stabilite cu relația 3.1 și cele stabilite cu relația 3.2 și prezentate în tabelele 3.1 și respectiv 3.4 se constată că acestea diferă, în domeniul considerat al diametrelor burghiilor de la 3...60 mm, de la 2,6:1 la 1:2,7 adică de cea 7 ori la prelucrarea oțelului, și de la 3,3:1 până la 1:3,1 adică de cea 10 ori la prelucrarea fontei;

c. Pe lângă calitatea materialului prelucrat și al materialului din care este confecționată scula, parametrii regimului sînd de asemenea influențați în mare măsură de o serie de alți factori dintre care se enumeră :

- lungimea găurii prelucrate (pentru $l/D > 3$)
- poziția înclinată a suprafeței de pătrundere a burghiului în raport cu axa de rotație a acestuia,
- raportul dintre durabilitatea reală și cea recomandată etc.

d. Forțele și momentele din procesul prelucrării sînt influențate de:

- diametrul burghiului sau, adîncimea de așchiere;
- avans;
- materialul de prelucrat;
- lungimea orificiului;
- geometria sculei așchietoare;
- condițiile de lucru (cu sau fără răcire);
- uzura sculei etc.

Luarea în considerare a tuturor acestor factori este dificilă și necesită timp destul de lung de alegere, cunoașterea cît mai exactă a sculei și a piesei în care se execută prelucrarea, a condițiilor de lucru etc. De cele mai multe ori nu se poate ține cont de toți factorii și de toate influențele fapt care conduce la regimuri mai mult sau mai puțin apropiate de cele recomandate (și acelea stabilite cu anumite aproximații).

În cazul mașinilor cu programe pentru regimul de așchiere erorile de stabilire a programelor, pot conduce la ruperi de scule și compromiterea piesei sau chiar a mașinii.

Din această cauză, în mod deliberat se utilizează regimuri mai ușoare care însă conduc la capacități de producție mai scăzute și ca atare la o eficiență mai mică a utilizării mașinii.

3.2. Obiectivele regimului de așchiere în condițiile comenzii adaptive

Așa cum s-a arătat stabilirea regimului de așchiere trebuie să țină cont de foarte mulți factori. Acest lucru se datorește și faptului că nu se poate controla efectiv desfășurarea procesului de așchiere. Apoi, unii factori pot avea o variație chiar pentru condiții considerate identice, ca de exemplu duritatea materialului, uzura sculei, condițiile de răcire etc. și modificarea acestora nu poate fi luată în considerare în timp util.

Se consideră că regimul de așchiere este condus mai avantajos prin controlul permanent (în timpul procesului de așchiere) a momentului de torsiune și a forței axiale. În acest mod se poate ține cont la stabilirea avansului curent de o serie de factori cum ar fi adâncimea găurii, duritatea materialului prelucrat, uzura burghiului etc.

Conducerea procesului de așchiere este mai indicat să fie realizată:

a. funcție de momentul de torsiune maxim admis de către burghiu (cu limitările impuse de către mașină, sculă sau piesă) pentru cazul când se urmărește încercarea maximă a burghiului (sau a mașinii-unelte);

b. funcție de un moment de torsiune care să asigure un avans apropiat de cel stabilit cu relația 3.1 în cazul în care se urmărește realizarea unei anumite precizii pentru gaura prelucrată sau se prelucerează piese de rigiditate mică.

În ambele cazuri avansul din proces este variabil funcție de adâncimea orificiului prelucrat, uzura sculei, duritatea materialului etc.

Se consideră necesară și măsurarea forței axiale din proces pentru comanda ciclului sau pentru respectarea limitărilor datorită forței axiale la burghiu sau la mașină (lagărul axial al arborelui principal sau sistemul de avans).

4. TRADUCTOARE SI COMPONENTE DE MASURA

PRINTELE SCAMA SI TRACIAT

4.1. Condiții necesare pentru traductoare și componente de măsură.

Comanda adaptivă se bazează pe informațiile primite din procesul producerii în timpul desfășurării acestuia. Din această cauză problema realizării unor traductoare și componente de măsură adecvate este de importanță maximă pentru ansamblul comandanței adaptive.

Majoritatea metrelor care măsoară detentivitatea reprezintă mărimi neelectrice (forțe, momente de torziune, puteri, temperaturi, vibrații etc.) acestea trebuind să fie convertite în semnale electrice corespunzătoare. Pentru măsurarea forțelor (deplasărilor) se cunosc un număr relativ mare de traductoare de diverse tipuri (rezistive, inductive, capacitive, piezoelectrice, magnetoelectrice etc.) dar relativ puține au reușit să se impună în etichile industriale, restul fiind utilizate mai mult în experimentările de laborator.

Condițiile principale pe care trebuie să le îndeplinească traductoarele și componentele de măsură sunt :

a. Rigiditate cât mai bună pentru ca utilizarea traductorului să nu afecteze sensibilitatea vorzilor executanți respective și a mășinii unelte în ansamblu având în vedere că amplasarea traductorului se face cât mai aproape de locul unde se produce mărimea de măsurat. Această condiție este extrem de importantă și limitează utilizarea traductoarelor de tip rezistiv, inductiv sau capacitiv la care măsurarea se realizează printr-o deformare sau deplasare a elementelor care compun traductorul. Este de preferat ca rigiditatea elementului traductor să fie comparabilă cu a metalului de bază din care este confecționat. Din acest punct de vedere o comportare foarte bună o au traductoarele magnetoelectrice și mult mai puțin cele piezoelectrice.

b. Sensibilitate bună pentru a putea sesiza variații suficient de mici ale mărimilor măsurate.

c. Domeniu de măsură suficient de mare pentru a putea acoperii domeniul de variație a parametrilor măsurati.

d. Rapiditate corespunzătoare desfășurării fenomenului a cărui mărime se măsoară. Această cerință este în general satisfăcută de către traductoare, acceptabil realizată de către componentele de măsură dar mai deficitară la elementele de execuție ale mașinii-unelte.

e. Să emită un semnal continuu, pentru o mărime constantă măsurată, (problemă dificil de rezolvat pentru traductoarele piezoelectrice).

f. Dimensiuni de gabarit mici pentru a putea fi ușor amplasat în apropierea locului în care se desfășoară procesul de prelucrare.

g. Să aibe fiabilitate ridicată, să-și păstreze în timp indicația, să fie rezistente la șocuri și vibrații (să nu fie casante), să nu fie sensibile la variațiile de temperatură etc.

Majoritatea acestor cerințe sînt satisfăcute de traductoarele magnetoelastice, care sînt printre cele mai frecvent utilizate /9/, /25/, /29/, /32/, /34/, /39/, /44/, /47/, /49/, /60/, /78/ în cazul comenzilor adaptive la mașini-unelte.

La traductorul magnetoelastic forța ce se măsoară este evidențiată prin modificarea proprietăților magnetice ale materialului din care este construit traductorul.

Deoarece în cazul mașinii de găurit parametrii controlați sînt forța axială și momentul de torsiune se vor analiza unele construcții pentru măsurări de forțe și momente, adecvate mașinilor de găurit.

4.2. Construcții de traductoare și componente de măsură pentru forță și momente de torsiune.

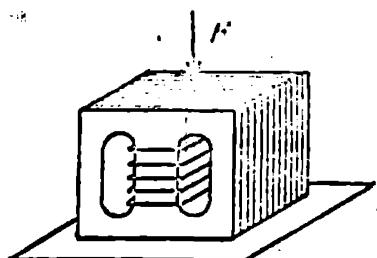
Datorită avantajelor, prezentate anterior, se analizează în special traductoarele magnetoelastice și componentele de măsură care pot utiliza astfel de traductoare.

4.2.1. Traductoare magnetoelastice pentru forță

Așa cum s-a arătat, principiul de bază al funcționării

traductoarelor magnetoelastice constă în variația permeabilității magnetice μ al unui material feromagnetic, cauzată de variația stării sale de solicitare σ /9/,/29/,/47/.

Constructiv, traductorul este constituit practic dintr-un corp din metal prevăzut cu o înfășurare electrică așa cum este prezentat schematizat în figura 4.1. La aplicarea forței F se



se modifică σ și deci μ și ca urmare apare o variație de inductivitate care se evidențiază prin procedee cunoscute.

Sensibilitatea relativă /9/,/29/ a acestor traductoare este dată de raportul:

Fig.4.1. Schema traductorului magnetoelastic.

$$S \text{ [%]} = \frac{\Delta Z}{Z_0} \cdot 100 = \frac{Z_{\sigma} - Z_0}{Z_0 \sigma} \cdot 100 = \frac{\Delta Z}{Z_0 \sigma} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4.1)$$

în care:

Z_0 este impedanța traductorului pentru $\sigma = 0$

Z_{σ} - impedanța traductorului pentru $\sigma \neq 0$

Deoarece $\frac{\Delta Z}{Z_0} = \frac{\Delta \mu}{\mu}$ rezultă că (4.2)

$$S \text{ [%]} = \frac{\Delta \mu}{\mu \sigma} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4.3)$$

în care: μ este permeabilitatea magnetică a materialului $[\frac{H}{m}]$.

Sensibilitatea relativă a traductorului variază și cu frecvența de alimentare și cu inducția /9/,/29/ așa cum este

prezentat în diagrama din figura 4.2 pentru un material Fe-Si

Materialul din care este construit traductorul și direcția laminării (respectiv orientarea tolei pe banda de tablă) au influențe importante asupra sensibilității relative /60/.

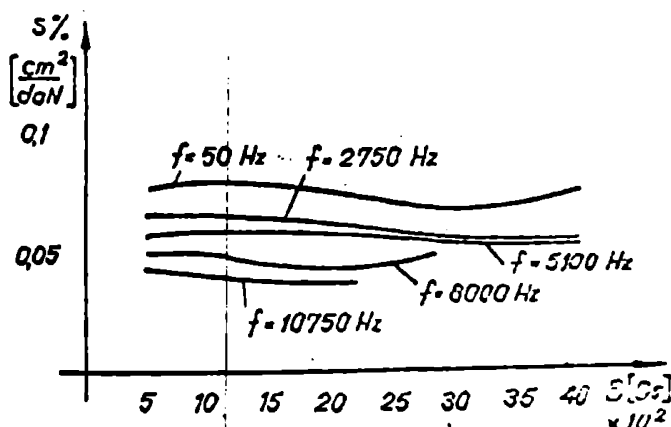


Fig. 4.2. Sensibilitatea relativă a traductoarelor

4.2.2. Construcții de componente de măsură pentru momente de torsiune

Pentru măsurarea momentelor de torsiune se recurge deseori la construcții ce reduc măsurarea momentului tot la măsurarea unei forțe. Problema este mai dificilă datorită faptului că arborile la care se măsoară momentul este în mișcare de rotație și ar fi de preferat ca semnalul de la traductor să nu se transmită prin perii colectoare. Componentul de măsură, în ansamblu, trebuie să aibe gabarit și inerție cât mai mici și să fie sigur în funcționare.

Literatura de specialitate /6/, /7/, /8/, /32/ prezintă unele modalități de măsurare.

Construcțiile din figura 4.3.a,b asigură măsurarea momentului de torsiune prin tendința de rotație a carcasi sateliților. Momentul de torsiune la carcasă M_m este dependent de valoarea momentului de torsiune rezistent (de măsurat) M_t și se poate calcula funcție de dimensiunile geometrice ale componentelor. Comportarea dinamică este bună în special la transmisia planetară cu roți dințate cilindrice.

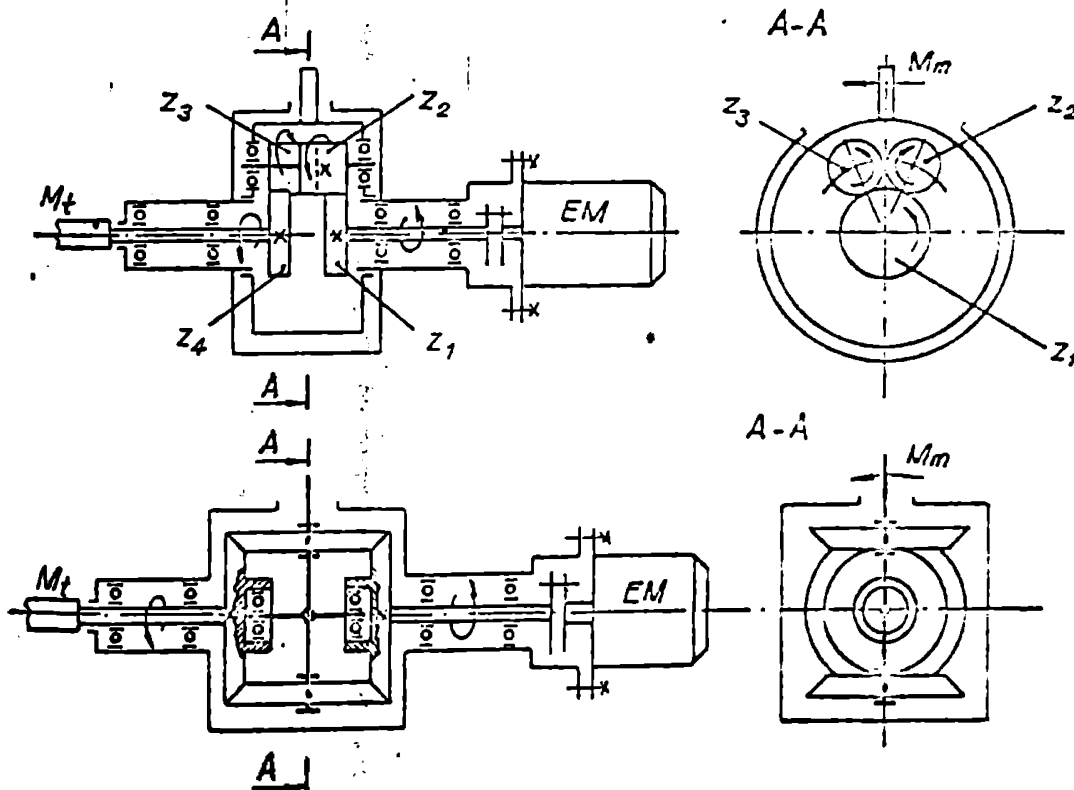
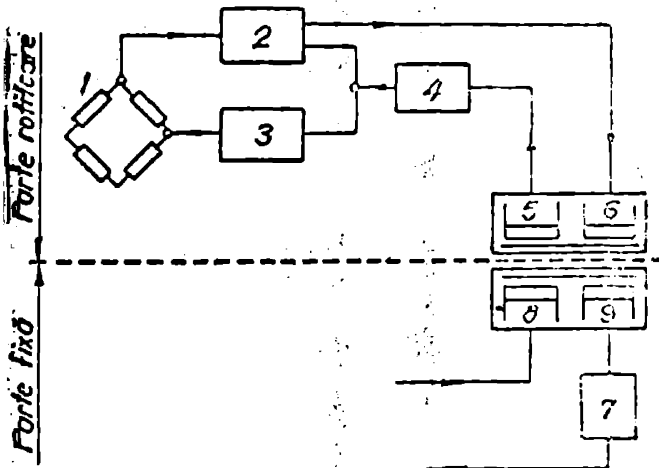


Fig.4.3. Construcții de componente pentru măsurarea momentului de torsiune.

Componentul traductor de moment al firmei Philips /C/ prezentat schematizat în figura 4.4, măsoară momentul de torziune pe baza modificării rezistenței unor traductoare rezistive 1 care produc schimbarea frecvenței unor oscilatoare de joasă frecvență 2,3. Construcția, deși mai complexă, se bucură de o serie de calități (lipsa contactului mecanic între partea fixă și cea rotitoare, sensibilitate bună etc.)



Transmiterea semnelului de la partea fixă la partea rotitoare și invers se face printr-un transformator având o parte rotitoare cu înfășurările 5,6 și una fixă 8,9.

Un component traductor ce utilizează pentru măsurare principiul magnetoelastice este prezentat în figura 4.5 /78/. Momentul de torziune se determină prin schimbarea proprie-

Fig.4.4. Traductorul de moment al firmei Philips.

tăților magnetice ale unei piese tubulare 1 aflată într-un câmp magnetic produs de bobinele 2.

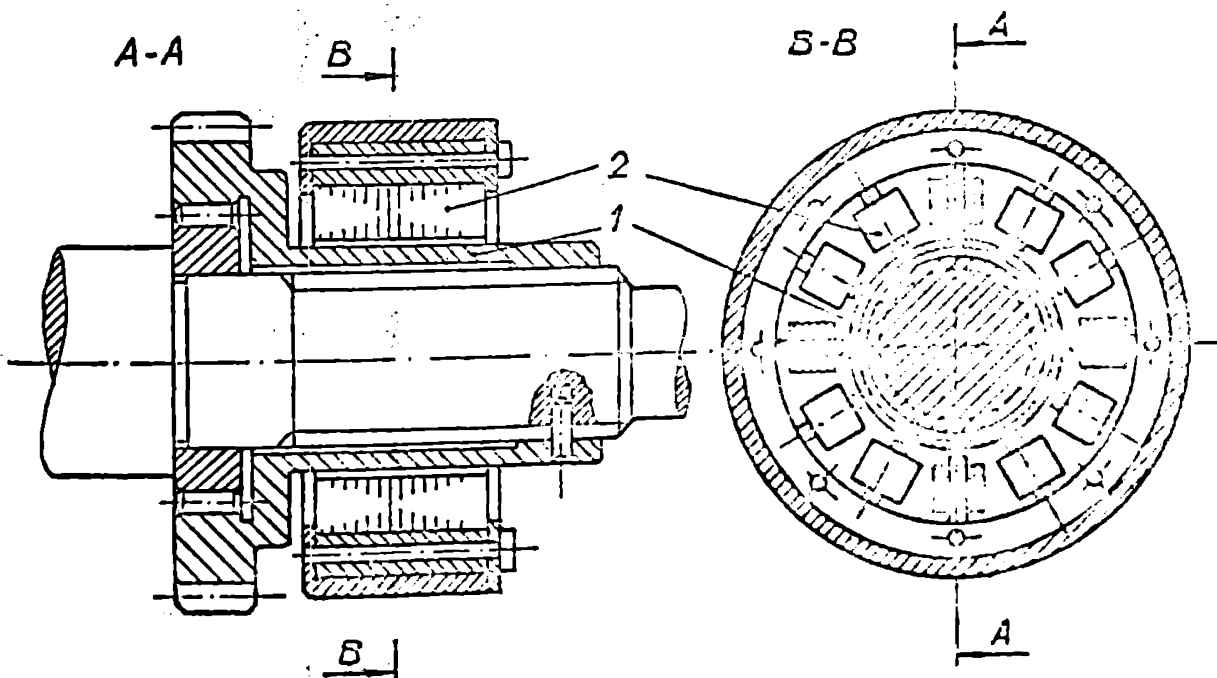


Fig.4.5. Traductor magnetoelastic pentru momentul de torziune.

Componentul are proprietăți foarte bune. La alimentarea cu frecvențe cuprinse între 500-1500 Hz, timpul de răspuns este de cca 2,5 ms sensibilitatea 10-30 mV/daN.cm. Componentul lucrează fără contact și deci nu este supus uzurii. Pentru a obține însă la ieșire un semnal corespunzător este necesar să se asigure o foarte bună concentricitate a presei tubulare 1 în raport cu bobinole 2 cerință dificil de realizat practic. În caz contrar se evidențiază, la măsurătoare și "bătăia" piesei tubulare prin modificarea întrefierului. Dimensionarea componentului traductor se face astfel încât piesa tubulară să fie solicitată la un efort de cca 1500 daN/cm² și să fie realizată din oțel cu foarte puțin carbon.

4.3. Contribuții la realizarea unor traductoare și componente de măsură pentru forțe și momente de torsiune

Datorită avantajelor traductoarelor magnetoelastice, preocupările pentru realizarea unor traductoare și componente de măsură s-au axat pe astfel de traductoare.

Traductoare de acest tip au mai fost utilizate cu bune rezultate și de către alți cercetători /34/, /39/, /89/ din colectivul condus de către Prof.dr.ing.E.Dodon, care le-a utilizat prima oară la CA a NU încă în 1956 /25/. Pentru cercetarea de față a fost necesară însă o mărime diferită de traductor față de cele studiate și încercate pînă în prezent, și ca atare au fost necesare cercetări și experimentări pentru această mărime diferită.

4.3.1. Traductor magnetoelastic pentru forță.

A fost proiectat, realizat și experimentat traductorul magnetoelastic pentru forță al cărui schiță este prezentată în figura 4.6.

Cele două semicarcase 1,2 confecționate din alamă fixează prin strîngerea șuruburilor de fixare 4 pachete de tole 3. Tolele sînt executate din tablă silicioasă izolate între ele și cu grosimea de 0,2 mm (max 0,3 mm).

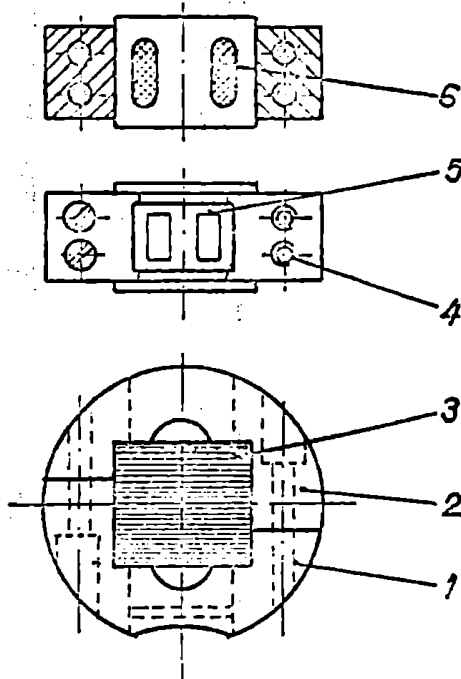


Fig.4.6. Traductor magnetoelastic pentru forță.

Bobinajul 6 se execută cu conductor de cupru izolat cu omal și mătase avînd diametrul 0,12-0,15 mm și avînd un număr de cca 80 spire. Terminalele bobinajului sînt accesibile pe placa 5.

Folosind o instalație experimentală a cărei schemă este prezentată în figura 4.7 iar fotografia în figura 4.8, au fost determinate caracteristicile de sensibilitate $S\%$ ale traductorului.

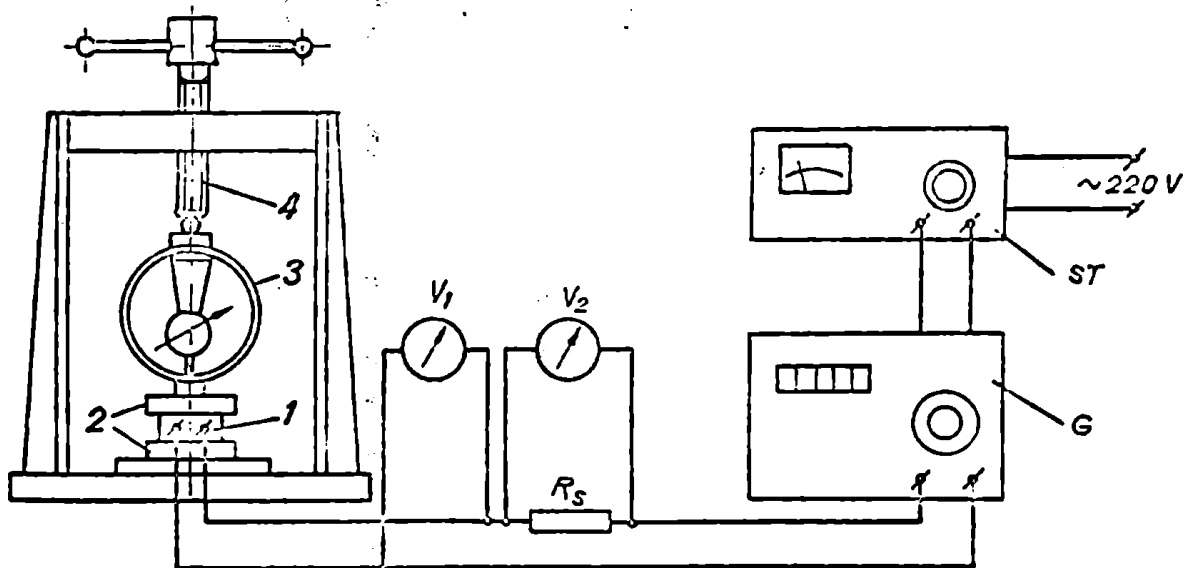


Fig.4.7. Schema instalației experimentale pentru determinarea caracteristicilor traductorului.

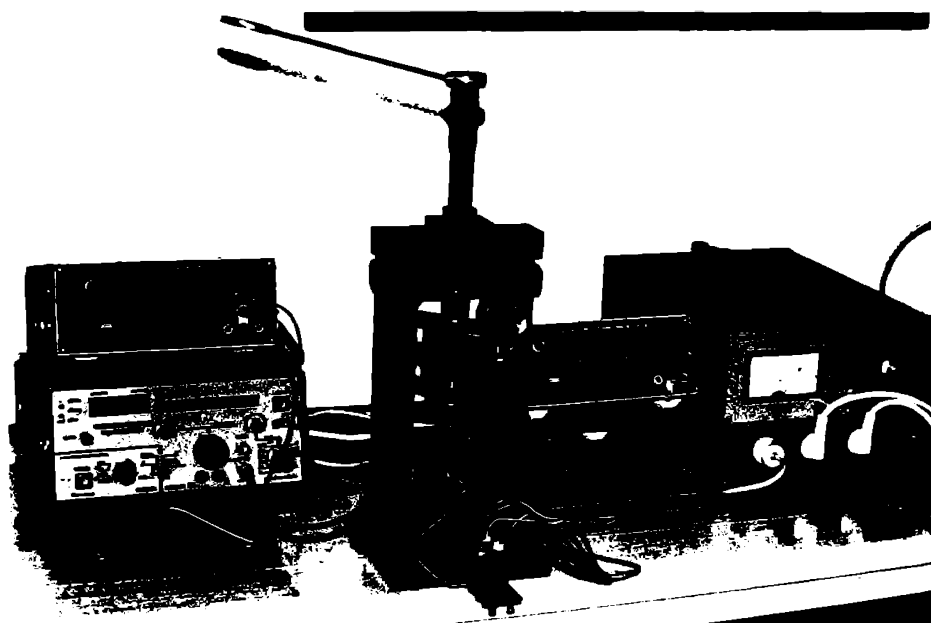


Fig.4.3. Instalația experimentală

Traductorul 1 amplasat între plăcile amagnetice 2 este supus acțiunii unei forțe create prin comprimarea dinamometrului 3 cu șurubul 4.

Alimentarea traductorului se face de la un generator de frecvență reglabilă G. Tensiunea la bornele traductorului, și curentul ce străbate bobinajul acestuia sînt măsurate cu voltmetrele V_1 și respectiv V_2 (curentul se determină indirect prin căderea de tensiune pe rezistența serie R_g).

Aparatura electronică este alimentată de la stabilizatorul de tensiune S.T.

S-au determinat caracteristicile :

$$S\% = f(B) \quad \text{și} \quad (4.4)$$

$$S\% = f(H_{ef}) \quad (4.5)$$

în care: B este inducția magnetică [T]

H_{ef} - cîmpul magnetic [A.sp/cm]

Acestea se determină cu relațiile :

$$B = \frac{U \cdot 10^4}{\sigma \sqrt{2} \pi f w} \quad [T] \quad (4.6)$$

$$H_{ef} = I \cdot \frac{w}{l_m} \quad [A.sp/cm] \quad (4.7)$$

în care:

- U este tensiunea la bornele traductorului [V];
- q - secțiunea fluxului [cm²];
- f - frecvența de alimentare a traductorului [Hz];
- w - numărul de spire al bobinajului traductorului;
- I - curentul din înfășurarea traductorului [A];
- l_m - lungimea medie a circuitului magnetic [cm].

Pentru traductorul analizat :

$$q = 0,48 \text{ cm}^2$$

$$w = 80 \text{ spire}$$

$$l_m = 4,3 \text{ cm}$$

Sensibilitatea relativă S% se determină cu relația:

$$S\% = \frac{I_0 - I}{I_0 \cdot \sigma} \cdot 100 \text{ [cm}^2/\text{daN]}$$

în care:

I₀ este curentul ce străbate înfășurarea în absența solicitării traductorului [A];

I - curentul prin înfășurare la apariția forței (solicitării);

σ - efortul din pachetul de tole [daN/cm²].

Rezultatele experimentale sînt prezentate în tabeloale 4.1. și 4.2. iar diagramele caracteristicilor (4.4) și (4.5) în figurile 4.9. și 4.10.

Din analiza acestora se observă că pentru această mărime de traductor este avantajoasă utilizarea unei inducții magnetice B de cca. 10 - 22.10⁻² [T] și respectiv a unui cîmp magnetic H_{of} de cca 18 - 20.10⁻² [A.sp/cm] ceea ce corespunde unei tensiuni de alimentare de cca. 8 - 16 [V.c.a] (avînd în vedere că frecvența tensiunii de alimentare a fost stabilită la 5 KHz din condiții de rapiditate a transmiterii semnalului) și un curent de 9,5 - 11.10⁻³ [A]. Densitatea de curent în conductorul bobinajului traductorului este de cca. 1 [A/cm²] iar puterea disipată de cca. 0,1 [W].

Tabloul 4.9

Cimpul magnetic H_{ef}	Frecvența de alimentare f	Tensiunea de alimentare U	Inducția magnetică B	Curentul I_0	Sensibilitatea relativă $S\% \cdot 100$
$10^{-3} \left[\frac{A \cdot sp}{cm} \right]$	[Hz]	[V]	$\times 10^{-2}$ [T]	$\times 10^{-3}$ [A]	$[cm^2/daN]$
100 (5,375 mA)	500	0,609	7,137	4,59	0,0548
	1000	1,162	7,032	4,582	0,0553
	2000	2,09	6,124	4,595	0,0544
	5000	3,85	4,512	4,61	0,053
	8000	5,45	4,00	4,673	0,0528
	10000	6,33	3,71	4,70	0,046
	15000	7,81	3,05	4,70	0,04
150 (8,635 mA)	500	1,321	15,462	7,164	0,0659
	1000	2,45	14,357	7,183	0,065
	2000	3,98	11,661	7,346	0,0563
	5000	7,61	8,92	7,436	0,0517
200 (10,91 mA)	500	1,91	22,365	9,115	0,063
	1000	3,43	20,10	9,162	0,0603
	2000	5,73	16,79	9,287	0,0553
	5000	10,05	11,78	9,291	0,0523

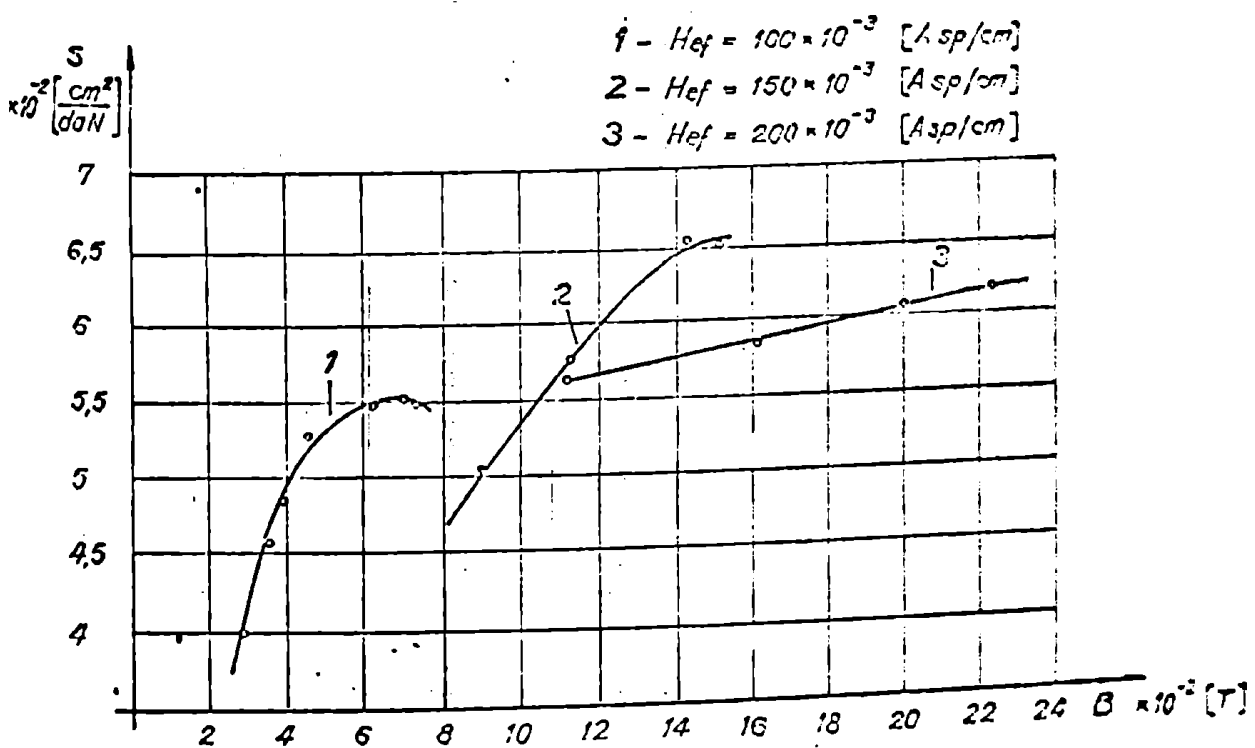


Fig.4.9. Diagramele $S = f(B)$

Tabloul 4.10

Inducția magnetică B	Raportul $\frac{U}{f}$	Curentul		Câmpul magnetic H_{ef}	Sensibilitate relativă $S\% \cdot [100]$
		I_0	I		
$10^{-2} [T]$	$\left[\frac{V}{Hz}\right]$	$\times 10^{-3} [A]$	$\times 10^{-3} [A]$	$\times 10^{-3} \left[\frac{A \cdot cm}{cm}\right]$	$\left[\frac{cm^2}{cm^2}\right]$
5	0,4265 / 500	3,391	4,214	78,4	0,057
	0,835 / 1000	3,682	4,382	81,5	0
	1,706 / 2000	3,91	4,614	85,6	0,05
	4,265 / 5000	4,682	5,455	101,5	0,045
	6,824 / 8000	5,355	5,177	114,9	0,049
	8,53 / 10000	5,823	6,641	123,5	0,045
10	0,853 / 500	6,682	6,727	125,1	0,0555
	1,71 / 1000	6,045	7,136	132,7	0,0578
	3,41 / 2000	6,455	7,591	141,2	0,0555
	8,53 / 5000	8,045	9,364	174,2	0,0525
20	1,71 / 500	8,41	10,10	190	0,0674
	3,41 / 1000	9,182	11,05	205,5	0,0657
	6,82 / 2000	10,5	12,55	233,4	0,0628

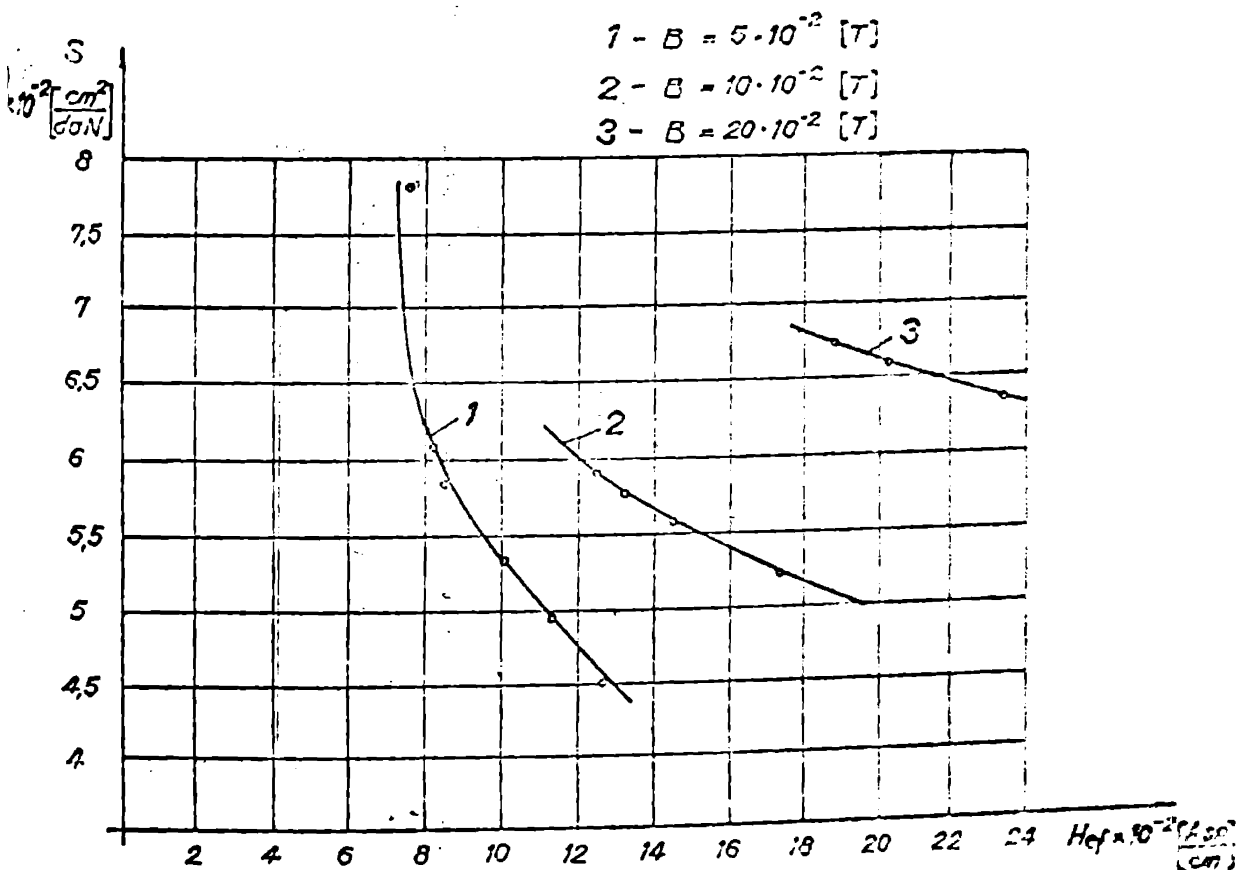


Fig. 4.10. Diagramele $S = f(H_{of})$

4.3.2. Componente de măsură pentru forța axială

Folosind traductoare magnetoelastice au fost proiectate, realizate și experimentate câteva componente de măsură pentru forța axială. La proiectarea acestor componente s-au avut în vedere forța maximă care solicită sistemul de măsură (forța tehnologică maximă și forța de precomprimare a grupului de traductori), caracteristicile traductoarelor (forța maximă admisă și dimensiunile de gabarit ale traductorului) și necesitatea de a realiza o punte de traductoare (deci numărul de traductoare din sistem să fie un multiplu de 4).

Gabaritul componentului de măsură trebuie corelat cu gabaritul lagărului axial al arborelui principal.

Soluția componentului de măsură al forței axiale pentru mașina de găurit GP 45 NC/AC este prezentată în figura 4.11

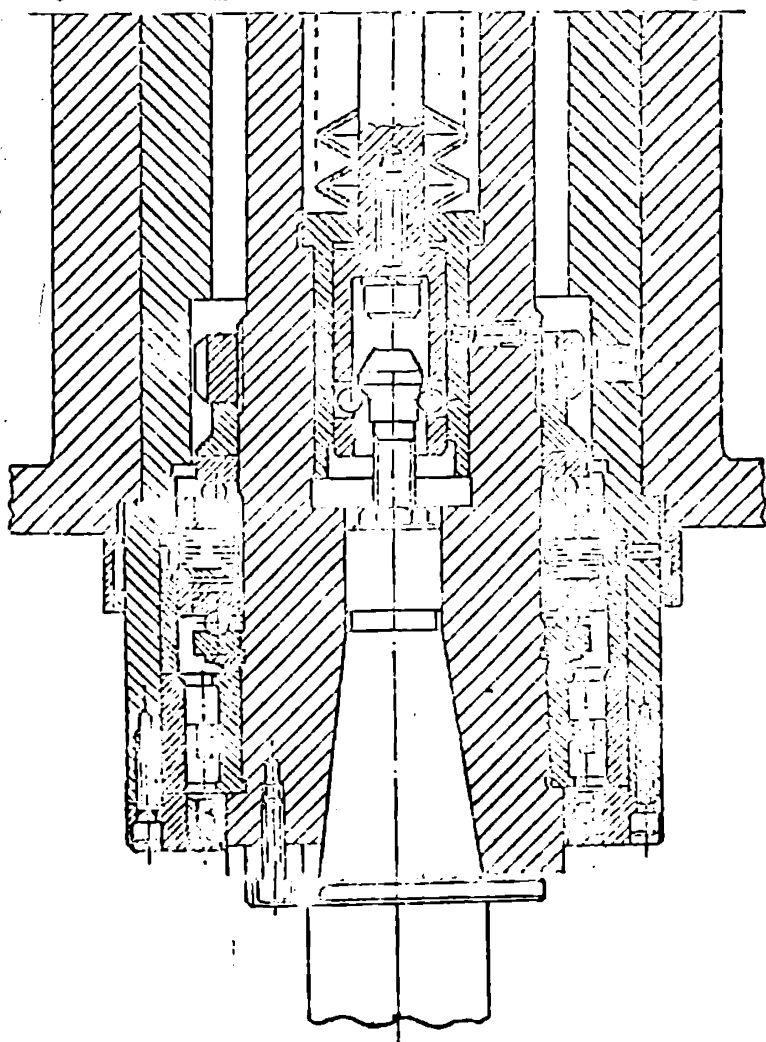


Fig.4.11. Componentul traductor de forța axială pentru mașina GP 45 NC/AC

iar în figura 4.12 este prezentat modul de amplasare a traductorilor în inelul magnetic de susținere.

Etalonarea sistemului s-a făcut prin încălzire cu forțe axiale folosind un dinamometru, așa cum este prezentat în fotografia din figura 4.13, diagrama de etalonare fiind prezentată în figura 4.14 (în cap.6 este precizată partea electronică aferentă).

Se observă că acest component de măsură are un histererezis foarte mic ceea ce este avantajos.

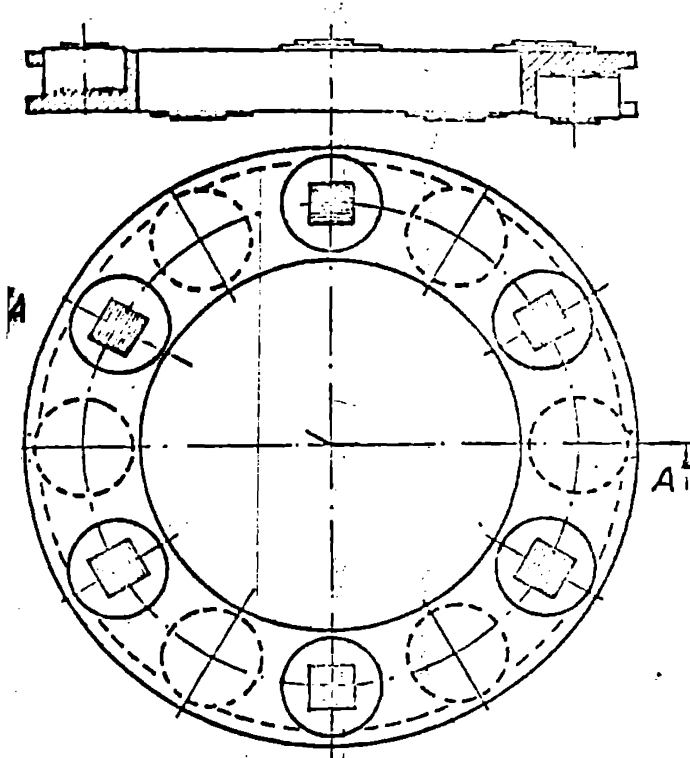


Fig.4.12. Construcția inelului cu traductori magneto-elastici.

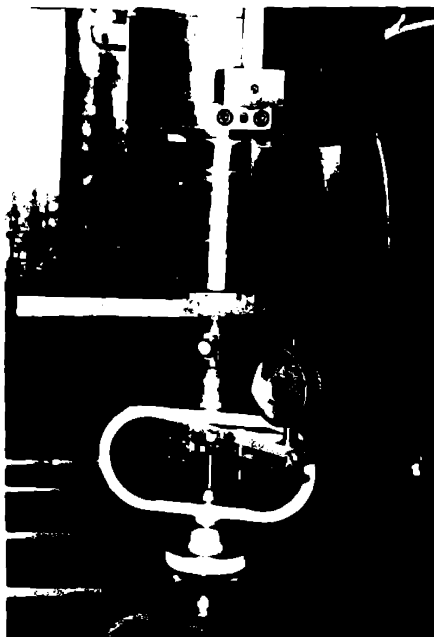


Fig.4.13. Etalonarea pentru forța axială.

Pantru mașina CPV-2 componentul realizat este prezentat în figura 4.15 /39/,/46/ .

În acest caz, traductorii sînt amplasați pe două inele independente, confecționate din material amagnetic.

Componentul de măsurare a forței axiale prezentat în figura 4.15 face parte din sistemul de protecție la ruperea accidentală a sculei pentru centrul de prelucrare vertical CPV-2.

Acest sistem conceput și realizat în colaborare cu conducătorul științific și cu doctorand ing.

Șanca Macedon (de la ICSIT-Titan - filiala Oradea) a fost omologat la întreprinderea Înfrățirea din Oradea.

4.3.3. Componente de măsură pentru momentul de torziune

Realizarea unor componente de măsură pentru momente de torziune se dovedește mai dificilă deoarece, așa cum s-a arătat, este de preferat ca traductorii să rămână inabili pentru a evita introducerea și culegerea semnalului prin perii colectoare.

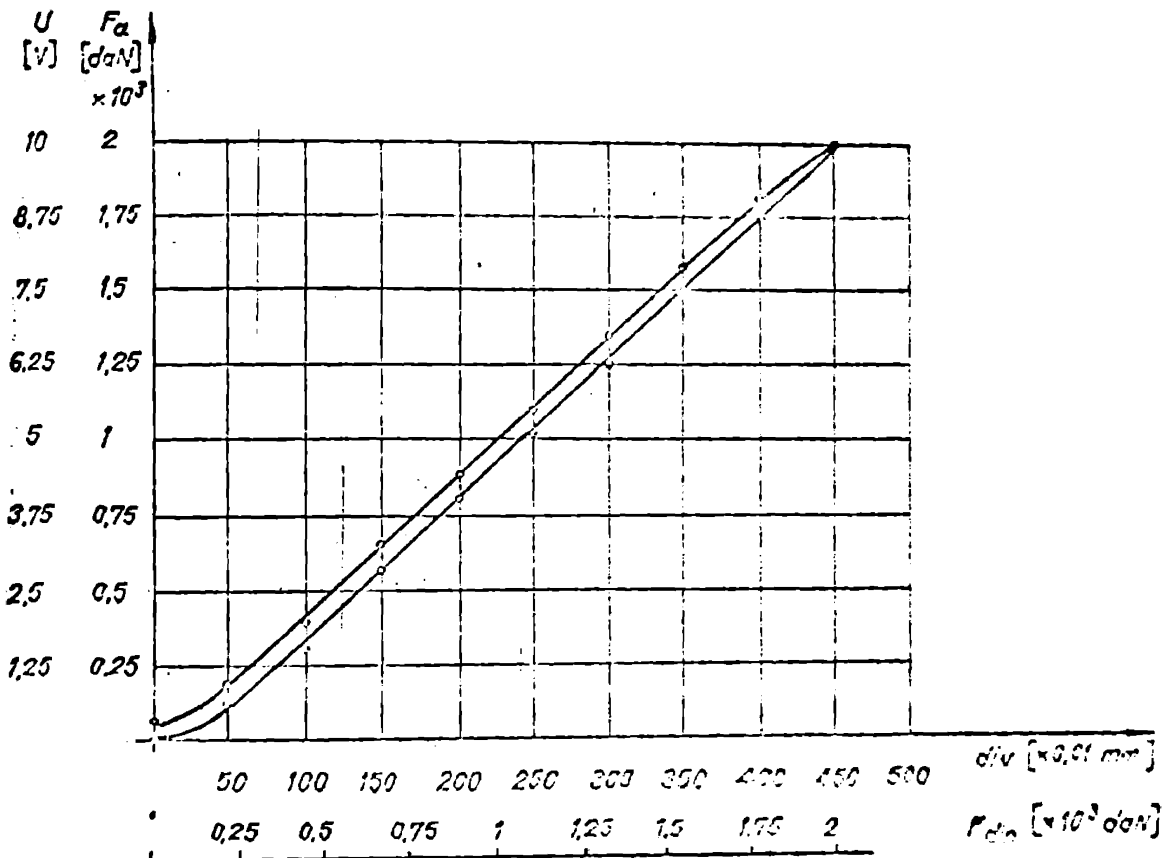


Fig. 4.14. Diagrama de etalonare a forței axiale

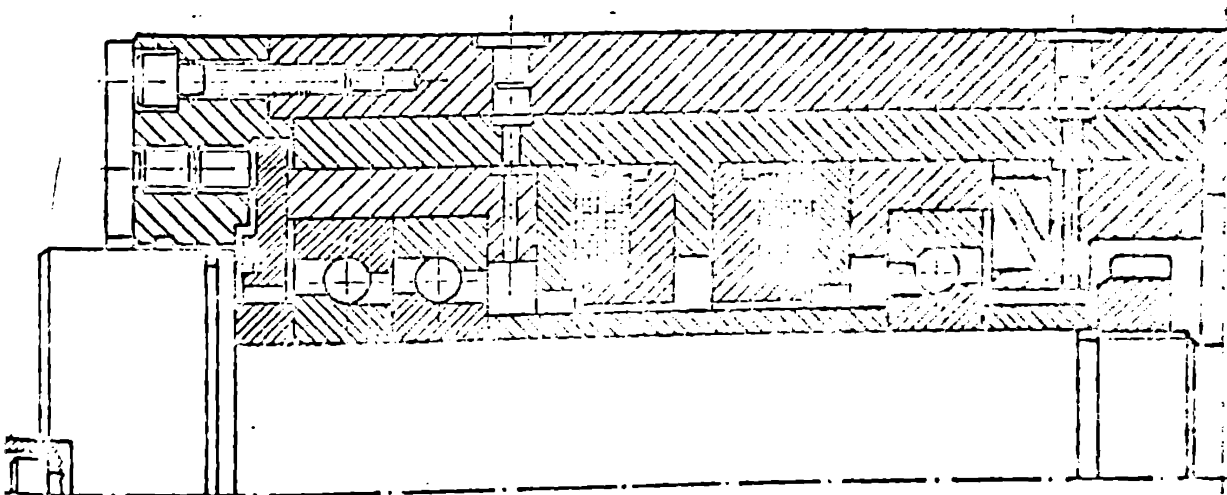


Fig.4.15. Componentul traductor pentru forța axială la mașina CPV-2

Au fost analizate câteva modalități pentru măsurarea momentului de torsiune :

a. Component de măsură a momentului de torsiune prin determinarea curentului absorbit de către motorul electric al acționării

Componentul este foarte simplu, deoarece este ușor de evidențiat creșterea curentului de alimentare a motorului (folosind în rezistor serie pentru electromotoarele de curent continuu sau transformatoare de curent pentru electromotoarele asincrone trifazate). Este necesar, însă a se compensa electro- nic semnalul datorat pierderilor în motorul electric, pierderi care fac ca la un moment de torsiune util de valoare nulă, curentul să nu fie nul (dependent de randamentul motorului electric). Componentul are dezavantajul că nu poate fi folosit acolo unde turațiile la arborele principal se obțin prin transmisii mecanice (cu roți dințate). El poate fi utilizat la mașini pentru găuri mici, fără reglare a turației la arborele principal.

b. Component de măsură a momentului de torsiune prin tendința de rotație a statorului motorului electric.

Componentul a cărui schemă este prezentată în figura 4.16,

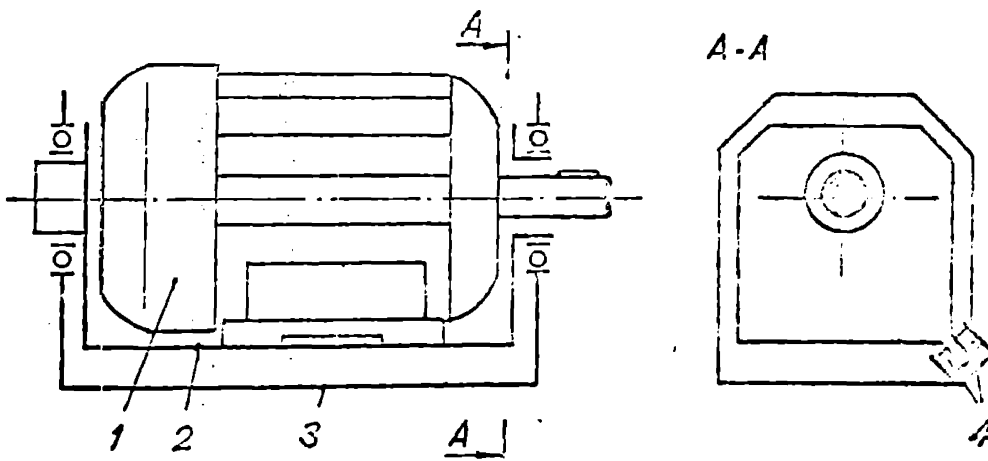


Fig.4.16. Schema componentului de măsură al momentului de torsiune prin tendința de rotație a carcasei motorului.

a fost proiectat (de către conduc. științific dr. ing. Suru P.) pentru măsurarea momentului de torsiune la unități de lucru pentru găurire adâncă, în vederea utilizării unui sistem de protecție împotriva ruperii accidentale a sculei. Motorul electric 1 este fixat pe suportul articulată 2 care este lăgăruit față de suportul fix 3. Tendința de rotire a suportului 2 față de 3 la apariția momentului de torsiune la arborele motorului electric este sesizată de traductoarele 4 fixe față de 3.

Componentul are dezavantajul, ca și în cazul precedent, că nu poate fi utilizat dacă turația la arborele principal se modifică (prin transmisii mecanice). Are însă avantajul simplității și afectează doar modul de fixare al motorului electric.

c. Component de măsură a momentului de torsiune prin măsurarea forțelor tangențiale din angrenaje.

Schema componentului este prezentată în figura 4.17 și reprezintă o contribuție originală la realizarea unui component de măsură pentru moment.

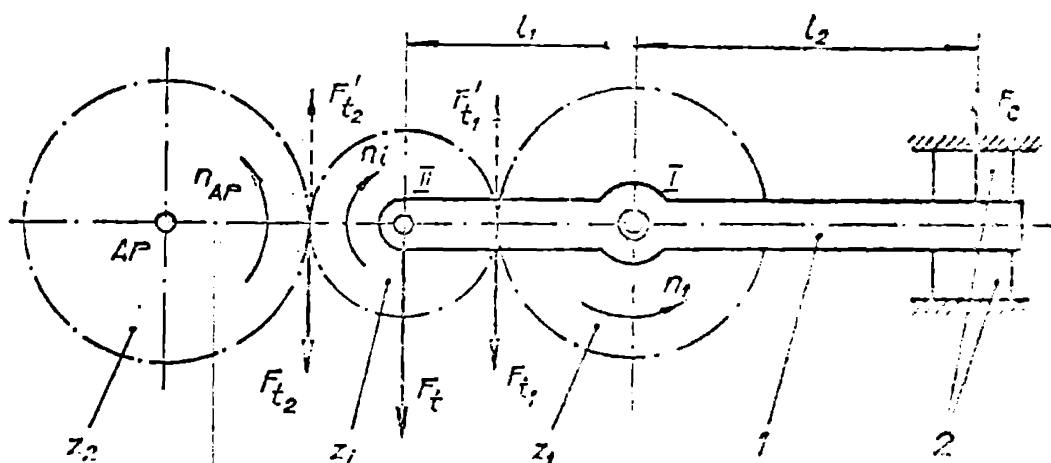


FIG.4.17. Schema componentului de măsură al momentului de torsiune prin forțele de angrenare

În lanțul cinematic ce transmite mișcarea de la cutia de viteză la arborele principal AP se introduce o roată intermediară z_i în ultimul angrenaj care transmite mișcarea către arborele principal.

Roata z_i este legăruită față de pîrghia 1 care este articulată față de axa arborelui I. La extremitatea opusă a pîrghiei 1 sînt plasați traductori 2 fixați față de carcasa mașinii.

Se determină forța tangențială F_t variabilă funcție de momentul de torsiune existent la arborele principal AP.

Cu notațiile din figura 4.17 se pot scrie relațiile :

$$M_t = F_{t_2} \cdot \frac{mz_2}{2} \quad \text{deci} \quad F_{t_2} = \frac{2M_t}{mz_2} \quad (4.8)$$

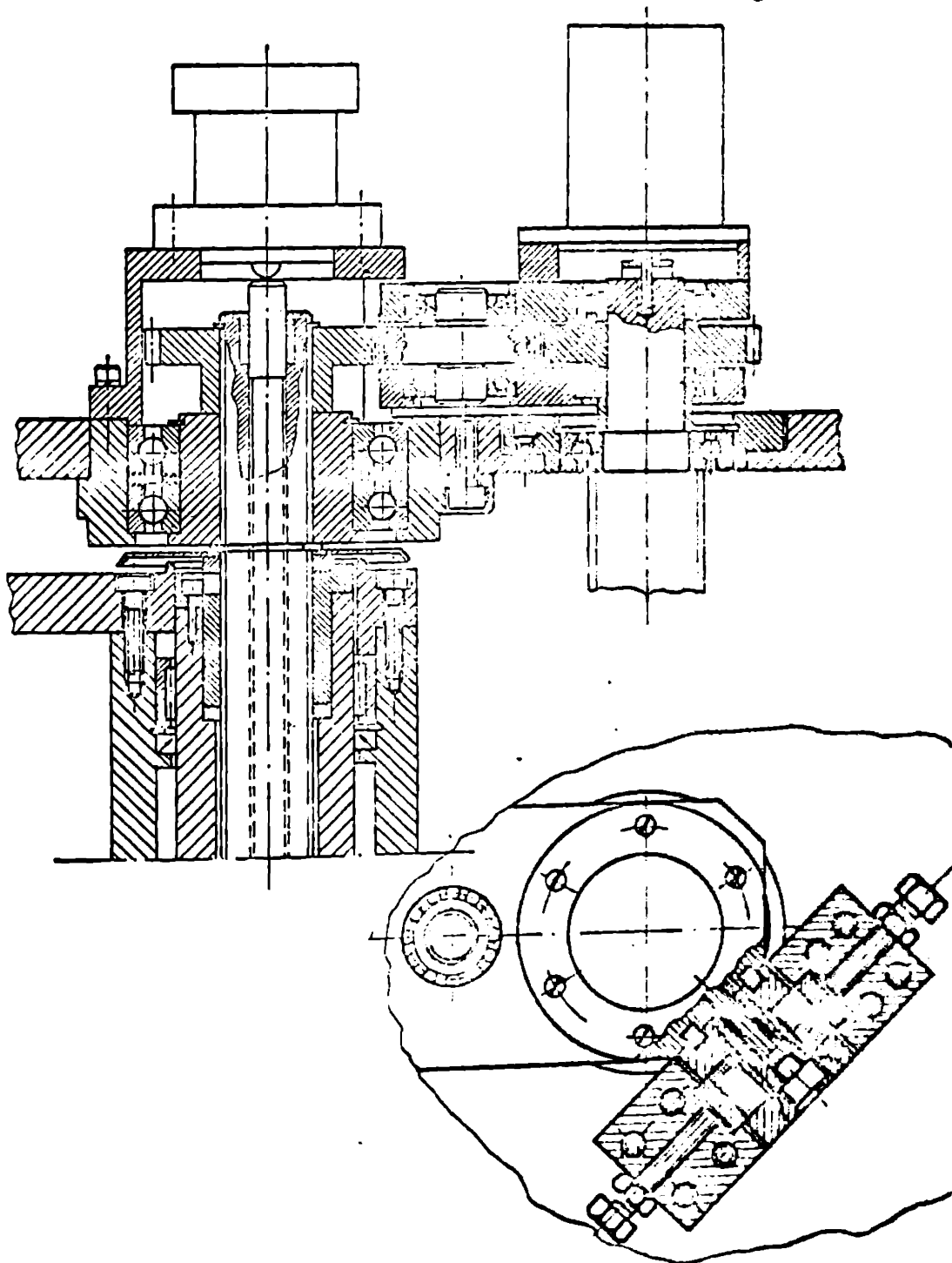
neglijîndu-se frecările din angrenaj și lagăre

$$F_{t_2} = F_{t_1} \quad \text{și deci} \quad 2F_{t_2} \cdot l_1 = F_c \cdot l_2 \quad \text{sau} \quad F_c = 2F_{t_2} \cdot \frac{l_1}{l_2} \quad (4.9)$$

în care: F_c este forța ce acționează asupra traductorilor 2;
 l_1, l_2 - dimensiunile de gabarit ale pirghiei.
înlocuind (4.8) în (4.9) se obține forța de traductor:

$$F_c = \frac{4 M_t}{mz_2} \cdot \frac{l_1}{l_2}$$

relație din care se observă² că forța de traductor depinde de
momentul de torsiune și de raportul brațelor pirghiei 1.



6.4.18. Construcția componentului traductor pentru momentul
de torsiune la mașina GP45 NC/AC

Sistemul a fost adaptat mașinii de găurit GP 45-NC/AC așa cum este prezentat în figura 4.18 și a dat rezultate foarte bune.

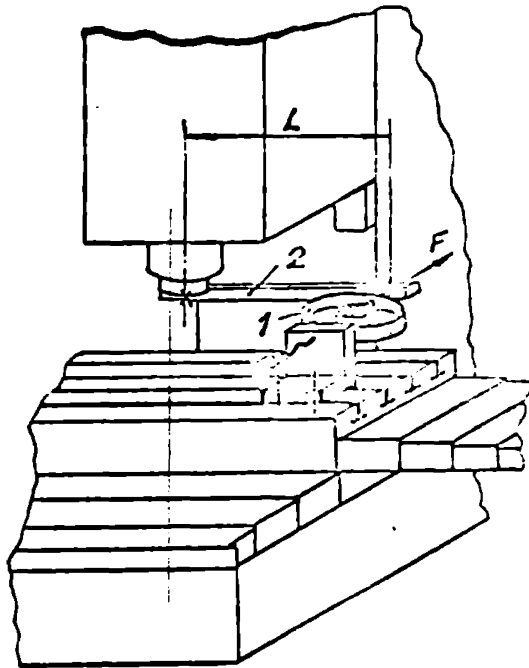


Fig.4.19. Etalonarea pentru momentul de torsiune.

Etalonarea s-a efectuat cu un dinamometru inercial cu care s-a realizat o forță F la distanța L de axa de rotație asupra unei tije 2 fixată în arborele principal al mașinii așa cum este prezentat în figura 4.19. Rezultatele etalonării sînt prezentate în tabelul 4.3, iar diagrama de etalonare în figura 4.20.

De remarcat că sensibilitatea componentului poate fi modificată relativ ușor prin sistemul electronic aferent, astfel încît se poate obține tensiunea U [V] dorită (de ex.10 Vcc) pentru momentul de torsiune maxim admis (de ex. 25.000 daN.mm).

Tabelul 4.3

Diviziuni la comparatorul dinamometrului	Forța dinamometrică F [daN]	Lungimea L [mm]	Momentul dinamometric M_{dim} [daNmm]	Tensiunea U [V]	
				Încălzire	Dezincalzire
0	0	162	0	0	0,3
5	13,75		2250	0,98	1,1
10	27,5		5000	1,96	2,08
15	41,25		7500	3,02	3,12
20	55,0		10000	3,97	4,15
25	68,75		12500	4,95	5,09
30	82,5		15000	6,00	6,21
35	96,25		17500	6,98	7,15
40	110,0		20000	7,97	8,12
45	123,75		22500	9,02	9,08
50	137,5		25000	10	10

d. Component de măsură a momentului de torsiune prin măsurarea reacțiunii din lagăr.

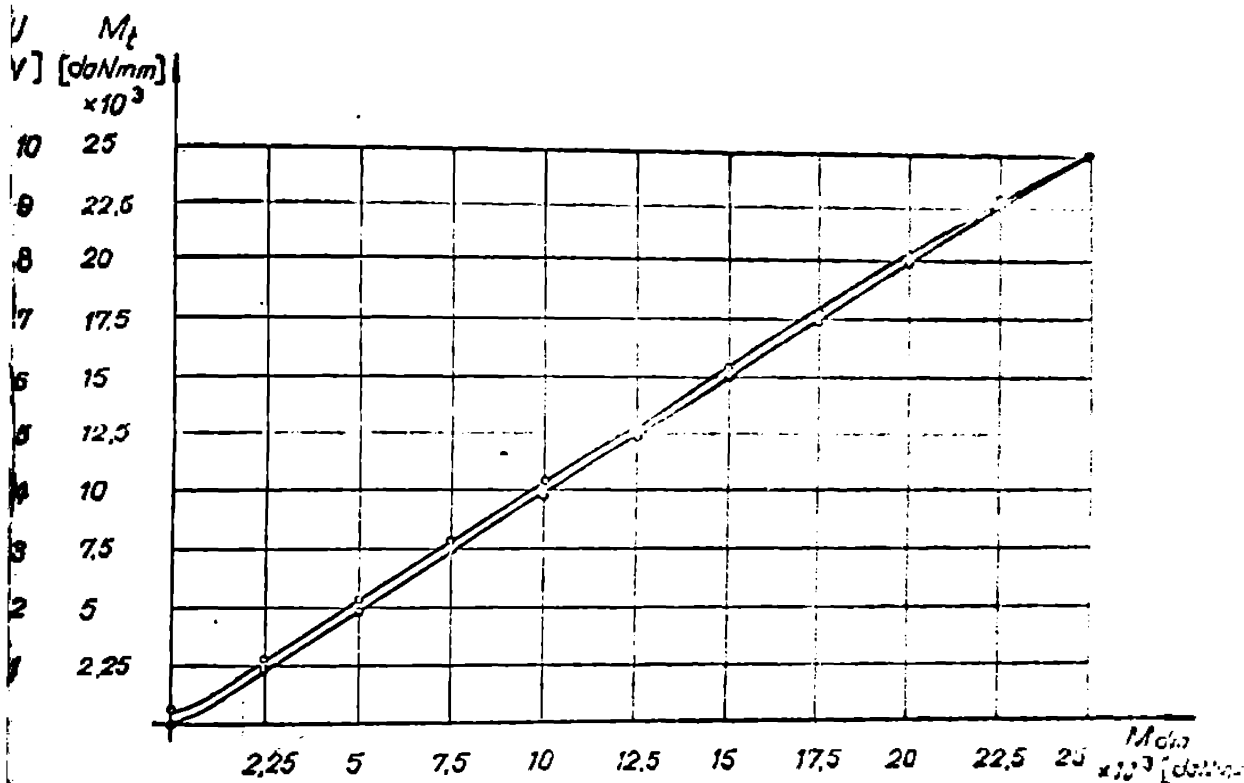


Fig.4.20 Diagrama de etalonare pentru momentul de torsiune
Schema componentului este prezentată în figura 4.21.

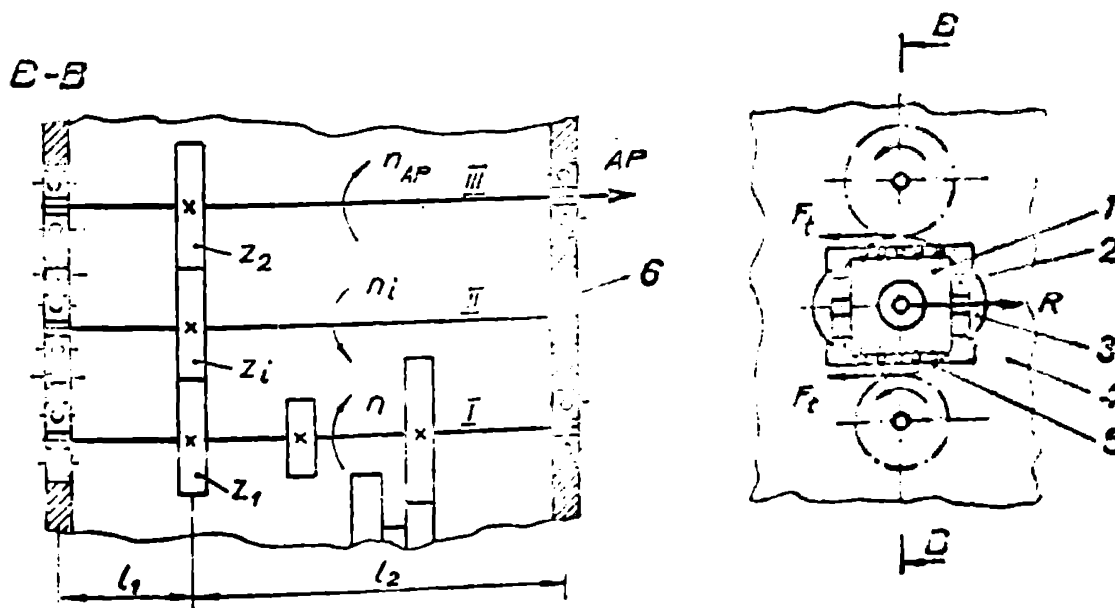


Fig.4.21. Schema componentului pentru măsurarea momentului de torsiune prin reacțiunea din lagăr.

Măsurarea momentului de torsiune transmis către arborele principal al mașinii-unelte se face prin determinarea mărimii reacțiunii dintr-un lagăr, corespunzătoare forțelor de angrenare.

Pentru un moment de torsiune M la arborele de măsură II al componentului, proporțional cu momentul de torsiune la arborele principal M_{AP} și conform notațiilor din figura 4.21 se poate determina reacțiunea R din lagărul stâng pe direcția forțelor F_t (neglijând forțele de frecare) cu relația:

$$R = \frac{2 F_t \cdot l_2}{l_1 + l_2} \quad [\text{daN}]$$

și deoarece:

$$M = \frac{F_t \cdot m z_1}{2} \quad [\text{daN} \cdot \text{mm}]$$

rezultă că :

$$R = \frac{4M \cdot l_2}{m z_1 (l_1 + l_2)} \quad [\text{daN}]$$

relație care arată că reacțiunea R depinde de momentul de torsiune transmis M și de dimensiunile geometrice ale construcției.

Pentru măsurarea reacțiunii R s-a proiectat construcția schematizată în figura 4.21, avînd carcasa portlagăr 1 cu grad de libertate pe direcția F_t față de carcasa mașinii 4 datorită existenței rozelor 5 și a rulmentului oscilant 6.

Traductorii 2 sînt plasați astfel încît minimizează variația reacțiunii R , fiind pretensionați cu penole 3.

Sistemul este utilizat la mașina de cojit bare proiectată de către colectivul de Mașini-unelte al catedrei T.C.M. la solicitarea Intreprinderii din Oțelul Roșu și reprezintă o contribuție originală a autorului și a conducătorului științific la realizarea unui sistem pentru măsurarea momentului de torsiune.

Un sistem similar, a fost proiectat, realizat și încercat pentru mașina de rectificat /34/.

4.4. Concluzii

Au fost proiectate, realizate și experimentate o serie de construcții de traductoare și componente de măsură pentru forțe axiale și momentul de torsiune utilizabile la diferite mașini-unelte, folosind ca element de bază traductorul magnetoelectric.

Construcțiile au o serie de calități : rigiditate bună, sensibilitate, inerție mică, stabilitate etc. și se dovedesc apte de a fi utilizate pentru comenzi adaptive la mașini-unelte, sisteme de protecție, de autodiagnosticare a stării sculei etc.

Prin găsirea unor soluții judicioase de amplasare a tractorilor și componentelor s-a reușit să se măsoare cât mai fidel forțele și momentele din procesul prelucrării fără să fie afectate proprietățile de ansamblu ale mașinii.

Cu unele mici modificări constructive, componentele prezentate pot fi aplicate la o gamă largă de mașini-unelte.

5. STABILIREA ALGORITMULUI COMENZII ADAPTIVE A AVANSULUI LA GĂURIRE

Prelucrarea cu parametri ai regimului de aşchiere constant şi stabiliţi prin calcule se dovedeşte la ora actuală tot mai ineficientă deoarece calculele nu pot ţine cont de multitudinea influenţelor unor factori perturbatori.

Pentru creşterea eficienţei prelucrării prin aşchiere este necesară stabilirea optimă a parametrilor regimului de lucru ceea ce este posibil la construcţiile moderne de maşini-unelte prin utilizarea comenzii adaptive (CA). Aceasta asigură reglarea, chiar în timpul procesului de prelucrare, a unui sau a mai multor parametri de aşchiere conform unui algoritm prestabilit.

Stabilirea algoritmului depinde de scopul urmărit prin utilizarea CA, adică de criteriul de optimizare, care aşa cum s-a arătat în paragraful 1.2 poate fi: creşterea capacităţii de producţie a maşinii-unelte (a prelucrării) ridicarea preciziei de prelucrare şi cel mai normal costul minim al operaţiei.

Pentru deducerea algoritmului se adoptă o anumită strategie pe baza căreia să se modifice mărimea de ieşire, pentru anumite mărimi de intrare şi referinţă, funcţie de variaţia factorilor perturbatori.

În /39/ se demonstrează că pentru a fi îndeplinit criteriul costului minim al operaţiei este necesar ca avansul din procesul prelucrării să fie cât mai mare posibil (limitat de către rezistenţa burghiului sau de posibilităţile maşinii-unelte). Astfel, pentru cazul găuririi, criteriul costului minim al operaţiei este identic sau foarte apropiat de criteriul capacităţii de producţie maxime.

5.1. Alegerea mărimii de referinţă

În general prelucrarea găurilor nu este o operaţie de finisare. În majoritatea cazurilor pentru obţinerea unei calităţi mai bune a suprafeţei prelucrate se recurge la prelucrări ulterioare

de alocare, rectificare etc. Sînt mai rare cazurile cînd prelucrarea trebuie sã realizeze o precizie dimensionalã și calitate a suprafeței prelucrate foarte bunã. Din acest motiv în primul rînd, s-a admis ca și criteriul de optimizare principal, creșterea capacitãții de producție a utilajului pe care se instaleazã CA, respectiv realizarea unei gãuriri "intensive". Acest criteriul de optimizare a fost admis și de cãtre marea majoritate a cercetãtorilor, din domeniul CA la gãurire /6/,/7/, /8/,/9/,/19/,/39/,/43/,/50/,/58/,/79/,/80/,/81/,/91/.

Este preferabil ca sistemul CA sã poatã lucra și dupã alte criterii, cum ar fi precizia orificiului prelucrat etc. la care mãrimea controlatã-sã fie momentul de torsiune iar cea reglatã avansul.

Mãrimile de referințã trebuie astfel alese încît prin intermediul acestora sã poatã fi realizate funcțiile CA și sã se poatã controla parametrii procesului de prelucrare. Avînd în vedere funcțiile CA realizate pînã în prezent, factorii care influențeazã procesul prelucrãrii la gãurire și regimul de așchiere la gãurire, ca mãrimi de referințã pot fi admise : puterea la acționarea principalã, momentul de torsiune la burghiu, forța axialã sau (mai complex) o combinație a acestora.

Dacã se alege ca mãrime de referințã puterea la acționarea principalã, trebuie ținut cont de turația de antrenare a burghiului, de randamentul variabil al acționãrii principale funcție de turația la arborele principal, ceea ce complicã partea logicã (și deci electronicã) CA.

Majoritatea autorilor /8/,/9/,/19/,/79/,/80/,/81/,/91/ considerã ca fiind avantajoasã alegerea momentului de torsiune la burghiu ca mãrime de referințã. În felul acesta, majoritatea factorilor care influențeazã procesul de prelucrare pot fi luați în considerare (prin influența pe care o au asupra momentului de torsiune la burghiu). Dintre avantajele pe care le conferã alegerea momentului de torsiune la burghiu ca mãrime de referințã se enumerã :

- posibilitatea determinãrii directe, în timpul prelucrãrii, a încălcãrii burghiului, fãrã influența unor momente de frecare din transmisiile intermediare;

- simplitatea stabilirii unui algoritm pentru CA;

- simplificarea sistemului electronic al CA;

- fidelitate și comportare dinamică bună prin amplasarea sistemului de măsură în apropierea arborelui principal etc. O parte din avantajele enumerate aparțin și forței axiale. Totuși foarte rar s-a admis ca mărime de referință forța axială /50/ și numai pentru avantajul că poate fi măsurată cu mai multă ușurință, în comparație cu momentul de torsiune.

Se consideră că, deși în literatura de specialitate forța axială este puțin folosită în CA, totuși această mărime este necesară pentru realizarea unor funcții de limitare, protecție sau comandă a procesului de prelucrare.

5.2. Algoritmul comenzii adaptive a avansului funcție de criteriul capacității de producție maxime.

La stabilirea algoritmului se caută ordonarea unor dependențe între parametrii reglabili și mărimea de referință. Dezucurarea algoritmului se va face pe baza relațiilor dintre parametri tehnologici și de forță la găurire. Se va căuta determinarea modului de variație a momentului de torsiune de referință, astfel încât acesta să țină cont de restul mărimilor care influențează procesul prelucrării.

La stabilirea algoritmului trebuie avute în vedere caracteristicile concrete ale utilajului pe care se instalează CA pentru stabilirea limitărilor referitoare la mașina-unelte.

Pentru mașina GP 45 NC/AC principalele date sînt :

$n_{min} = 56$ rot/min

$n_{max} = 2500$ rot/min

$s_{min} = 4$ mm/min

$s_{max} = 4000$ mm/min

$F_{ax,max} = 2000$ daN

$Mt_{max} = 25.000$ daN.mm

$P_{max} = 4$ kw

$d_{min} = 3$ mm (limitat de accesorile cu care este dotată mașina)

$d_{max} = 63$ mm

5.2.1. Momentul de torsiune maxim admis de către burghiu

Așa cum s-a arătat în paragraful 3.1.1. regimul de așchiere poate fi stabilit funcție de rezistența burghiului, precizia găurii prelucrate etc.

Momentul de torsiune la ruperea burghiului se determină conform /55/ cu relația:

$$M_{rb} = W_p \cdot \tau_t \quad [\text{daN.cm}]$$

în care:

$$(5.1)$$

$W_p = 0,02D^3 \text{ [mm}^3\text{]}$ este modulul de rezistență polară;

$\tau_t = \frac{\sigma_r}{1,75}$ - efortul admisibil la forfecare
($\sigma_r = 210 \text{ daN/cm}^2$ pentru oțel rapid)

D - diametrul burghiului

Rezultă că :

$$M_{rb} = 0,24 D^3 \quad [\text{daN.cm}] \quad (5.2)$$

Dacă se admite un coeficient de siguranță $c = 2,5 \dots 4$

rezultă că momentul de torsiune M_b la burghiu este :

$$M_b = \frac{M_{rb}}{c} = \frac{0,24 \cdot D^3}{c} \quad [\text{daN.cm}] \quad (5.3)$$

După alți autori /39/ momentul la rupere se determină
cu relația :

$$M_{rb} = 1,3 D^{2,7} \quad [\text{daN.cm}] \quad (5.4)$$

și adăugând un coeficient de siguranță $c = 6 \dots 7$ rezultă că
momentul de torsiune M_b la burghiu va fi :

$$M_b = \frac{M_{rb}}{c} = \frac{1,3 \cdot D^{2,7}}{c} \quad [\text{daN.cm}] \quad (5.5)$$

Relațiile (5.3) și (5.5) conduc la valori semnificative
ale momentului de torsiune, pentru diametre D cuprinse între
15...35 mm. Se va adopta în continuare relația (5.3).

Pentru domeniul de variație acceptat al diametrului D la
burghiu, variația momentului de torsiune M_b este prezentată în
diagrama din figur. 5.1.

Acest moment de torsiune la burghiu nu poate fi însă necu-
tat în forma prezentată, din cauza restricțiilor ce intervin ca
anume :

- restricții de dimensiuni datorate existenței unui adânc de către
mașina de găurit;
 - restricții datorate existenței la mașina de găurit a
elementelor axiale (ambajului) și altele;
 - există și alte restricții datorate existenței la mașina de găurit
a elementelor axiale (ambajului) și altele.
- Există și alte restricții datorate existenței la mașina de găurit
a elementelor axiale (ambajului) și altele.

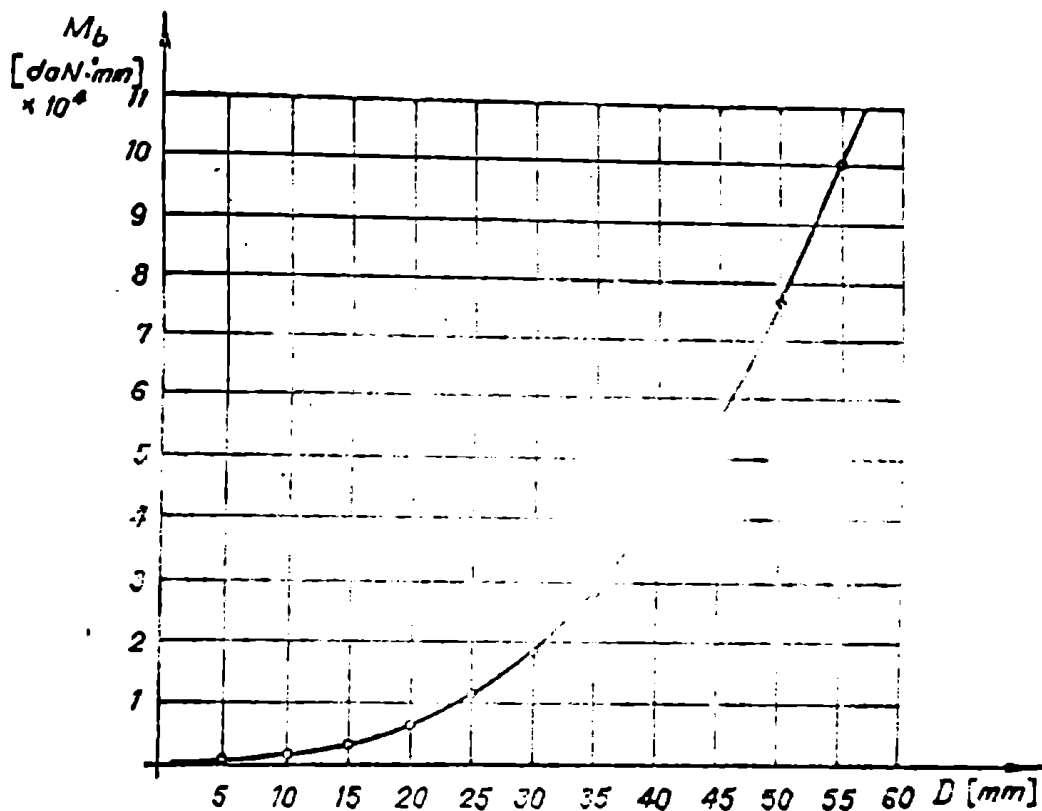


Fig.5.1. Momentul de torsiune la care rezistă burghiul.

5.2.2. Influența momentului de torsiune maxim admis de către mașina de găurit.

Fiecare mașină-unelte, prin construcția ei, asigură un anumit moment de torsiune maxim la arborii principali.

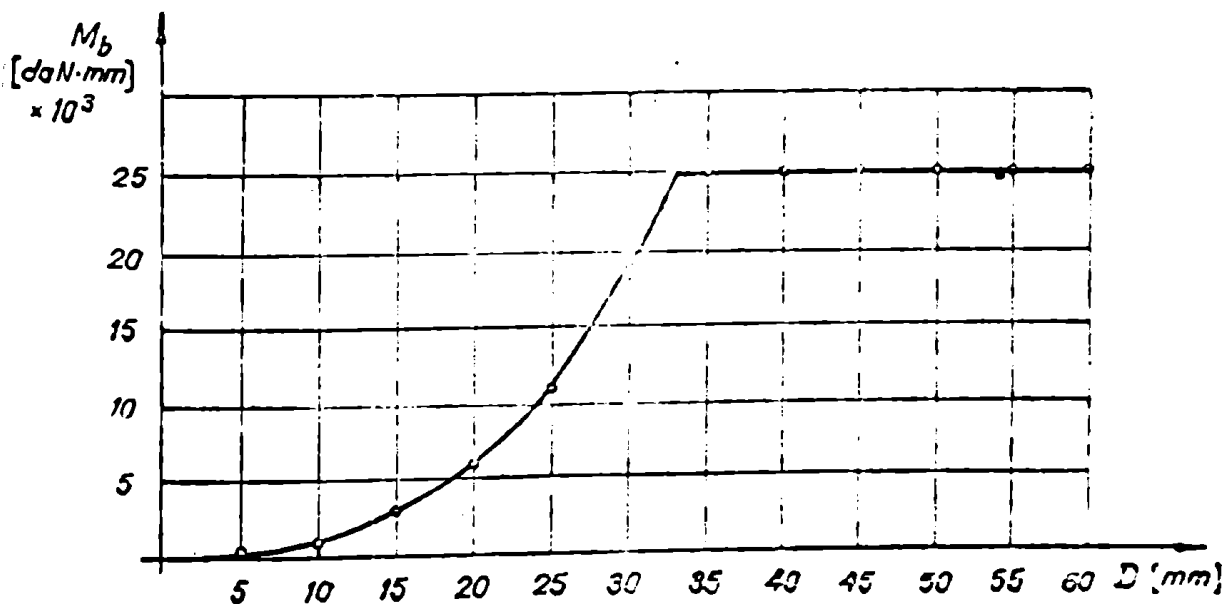


Fig.5.2. Momentul de torsiune limitat de către mașină. In cazul mașinii GP 45 NC/AC, acest moment este limitat la

$M_{max} = 25.000 \text{ [daN.mm]}$. Rezultă că momentul de torsiune din procesul prelucrării nu trebuie să depășească această valoare și ca atare diagrama de variație a M_b funcție de D va avea forma din figura 5.2.

Pentru această variație a M_b , avansul de găurire se determină conform /65/ din relația :

în care:
$$M_b = C_M \cdot D^{x_M} \cdot s^{y_M} \cdot HB^n \text{ [daN.mm]} \quad (5.6)$$

C_M este coeficient funcție de materialul prelucrat (Tab.12.39 /65/);

$x_M; y_M; n$ - exponenți funcție de materialul prelucrat (Tab.12.40 /65/);

unde: HB - duritatea materialului prelucrat (Tab.12.40/65/)

$$s = \sqrt[y_M]{\frac{M_b}{C_M \cdot D^{x_M} \cdot HB^n}} \text{ [mm/rot]} \quad (5.7)$$

Pentru câteva materiale, avansurile calculate cu relația (5.7) sînt prezentate în diagrama din figura 5.3.

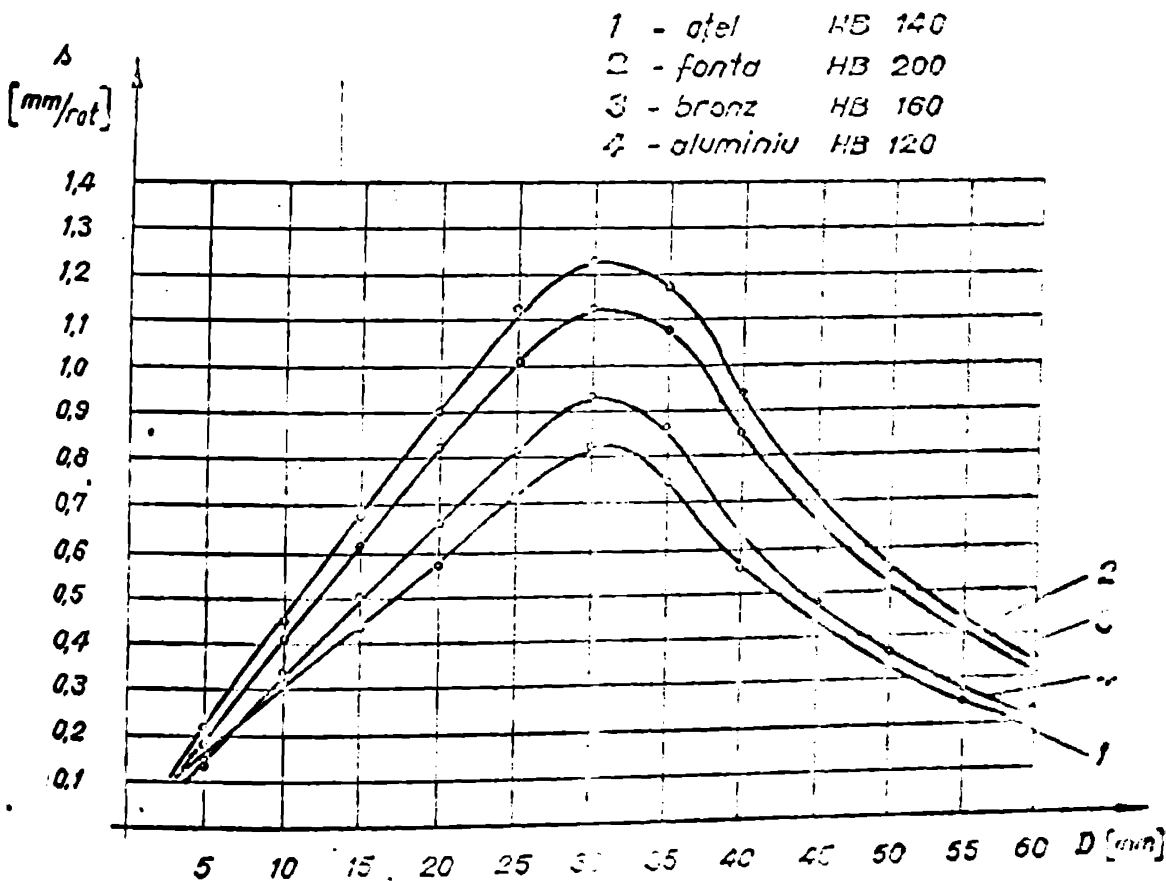


Fig.5.3. Variația avansului pentru momentul de torsiune limitat.

Din compararea valorilor avansurilor prezentate în tabelul 3.1 cu cele din diagrama 5.3 rezultă că acestea din urmă sînt mai mari cu cca 25...35% pentru diametre ale burghiilor de 25...30 mm. Pentru valori mai mari ale diametrelor burghiilor avansul scade datorită momentului de torziune al mașinii de găurit, limitat la o valoare constantă (fig.5.2).

5.2.3. Influența forței axiale

Valorile avansurilor calculate cu relația (5.7) conform Mb prezentate în figura 5.3, nu pot fi acceptate dacă nu verifică condiția forței axiale limitată de mașina de găurit și a condiției de stabilitate la flambaj a burghiului.

Pentru a verifica dacă forța axială Fa maximă în procesul de prelucrare nu depășește valoarea forței axiale maxime admise de către mașina de găurit, se vor determina forțele axiale conform avansurilor din figura 5.3. Forța axială se calculează /65/ cu relația:

$$F_a = C_F \cdot D^{x_F} \cdot s^{y_F} \cdot M_b^n \quad [\text{daN}] \quad (5.3)$$

în care: C_F este coeficient (Tab.12.39 /65/)

$x_F; y_F; n$ - exponenți (Tab.12.40 /65/)

Variația forțelor Fa pentru câteva materiale de prelucrat este prezentată în figura 5.4.

Se observă din diagramă că pentru fontă și diametre cuprinse între 27...48 mm forța axială admisă de mașină este depășită și ca atare se impune corectarea momentului de torziune Mb pentru acest material. Corectarea se face recalculînd valoarea avansului pentru care $F_a = 2.000 \text{ daN}$ și recalculînd momentul Mb pentru acest avans.

Deoarece aceste calcule ar trebui făcute pentru foarte multe materiale (și pentru unele dintre acestea nu există în literatura de specialitate date asupra coeficienților și exponenților din relațiile de calcul pentru forță și moment) s-a impus realizarea sistemului de comandă astfel încît forța axială la care să se întrerupă procesul prelucrării să fie reglabilă.

În acest fel se asigură protecția mașinii, realizîndu-se întreruperea prelucrării și retragerea burghiului, dacă forța axială din procesul prelucrării depășește 2000 daN precum și

protecția burghiului prin intrerunarea prelucrării dacă forța axială din proces depășește forța de flambaj a sculei.

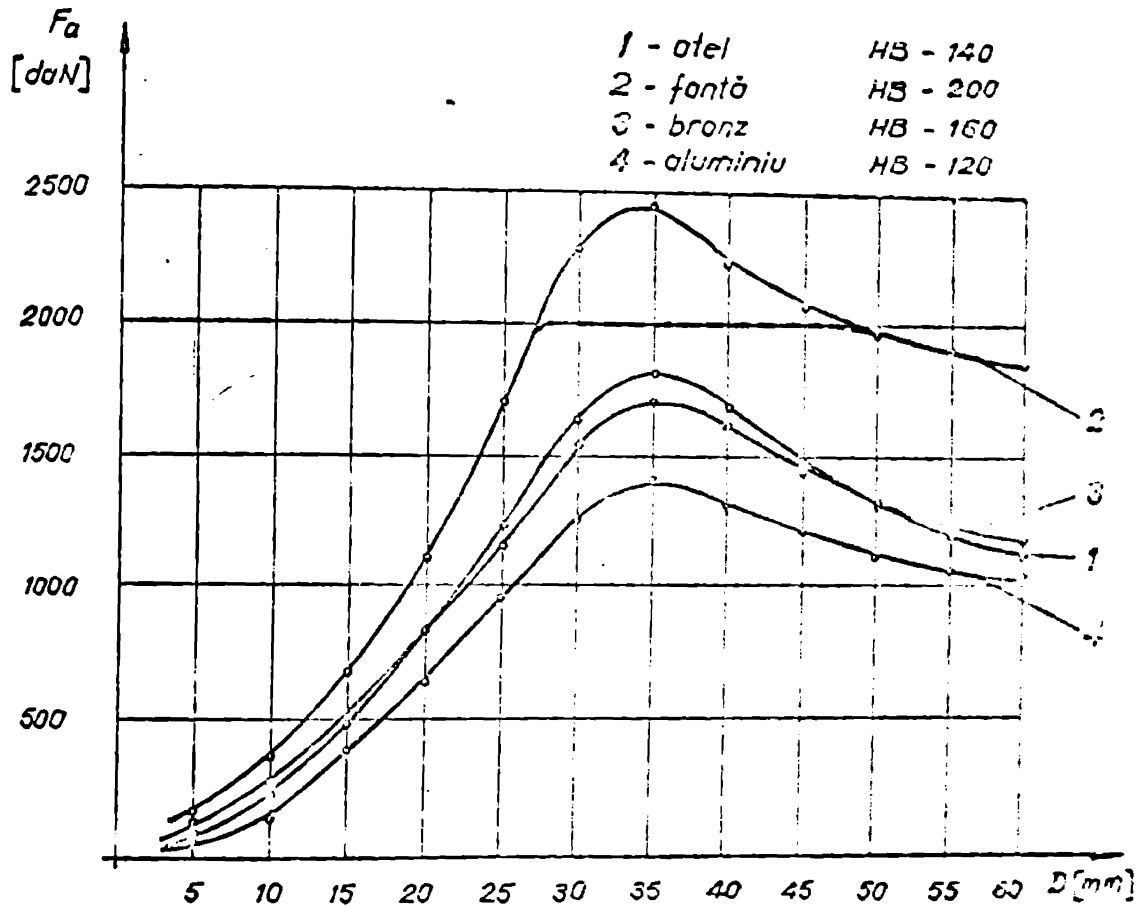


Fig. 5.4. Variația forței axiale pentru momentul de torsiune licitat

Burghiul prin construcția sa, are o stabilitate axială redusă (tendință de flambaj) în special pentru diametru sub 12 mm. Este nevoie deci să se țină cont la stabilirea momentului de torsiune a burghiului și de această solicitare.

Se știe că pentru o bară articulată la ambele capete forța critică de flambaj F_f se determină cu relația:

$$F_f = \frac{K \cdot E \cdot I_{\min}}{l_f^2} \quad (5.9)$$

în care: K este coeficient de stabilitate (pentru burghie $K = \pi^2$),

E - modulul de elasticitate (pentru oțel rigid

$$E = 20.000 \text{ [daN/mm}^2\text{)]};$$

I_{\min} - momentul de inerție minim (pentru burghie

$$I_{\min} = 0,0043 D^4 \text{ [mm}^4\text{)]};$$

l_f - lungimea de flambaj.

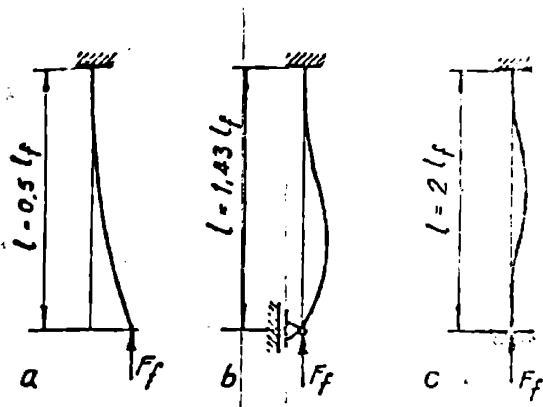


Fig. 5.5. Cazurile de flambaj b, c, sînt prezentate în tabelul 5.1. pentru trei tipuri de burghiu :

- burghiu elicoidal lung cu coadă cilindrică STAS 574-73;
- burghiu elicoidal cu coadă conică STAS 575-73;
- burghiu elicoidal lung cu coadă conică STAS 576-73.

Din compararea datelor din tabelul 5.1 cu cele din diagrama din figura 5.4, rezultă că pentru cazul a) se ating valorile semnificative ale momentului de torsiune, până la depășirea depășiri ale forței axiale critice de flambaj. Se observă avansul, care să nu producă depășirea forței axiale critice și continuarea momentului de torsiune.

Dacă la prelucrare se folosește o bușă de ghidare poziționată în jurul colului de flambaj al burghiului apare numai la începutul sub 20% diametru.

Tabelul 5.1

Diam. burghiu D [mm]	Mom. inert. I [mm ⁴]	Burghiu STAS 574-73				Burghiu STAS 575-73				Burghiu STAS 576-73					
		Lung. burgh. [mm]	Forța de flambaj			Lung. burgh. [mm]	Forța de flambaj			Lung. burgh. [mm]	Forța de flambaj				
			F _{fa} [daN]	F _{fb} [daN]	F _{fc} [daN]		F _{fa} [daN]	F _{fb} [daN]	F _{fc} [daN]		F _{fa} [daN]	F _{fb} [daN]	F _{fc} [daN]		
5	2,687	87	5,58	44,2	89,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	43	121	46,1	356,1	738,1	102,5	64,3	510,1	1020	100	52	175	350	-	-
15	217,7	144	165	1308	2638	132	106,3	1552,3	-	105	50	313,6	1400	-	-
20	688	166	392	3112	-	158	433	-	-	235	106	1553	2100	-	-
25	1600	-	-	-	-	182	797	6321	-	250	100	3300	-	-	-
30	3483	-	-	-	-	197	1210	11155	-	255	723	5780	-	-	-

Momentul de torsiune stabilit prin metoda prezentată reprezintă momentul de torsiune de referință M_r funcție de c și se conduce procesul de prelucrare.

Diagramele momentului de torsiune de referință M_r se trasează deci ținând cont de restricțiile precizate anterior. Astfel pentru cazul b de flambaj și caracteristicile mașinii GP 45 NC/AC, pentru câteva materiale de prelucrat, diagramele au forma din figura 5.6.

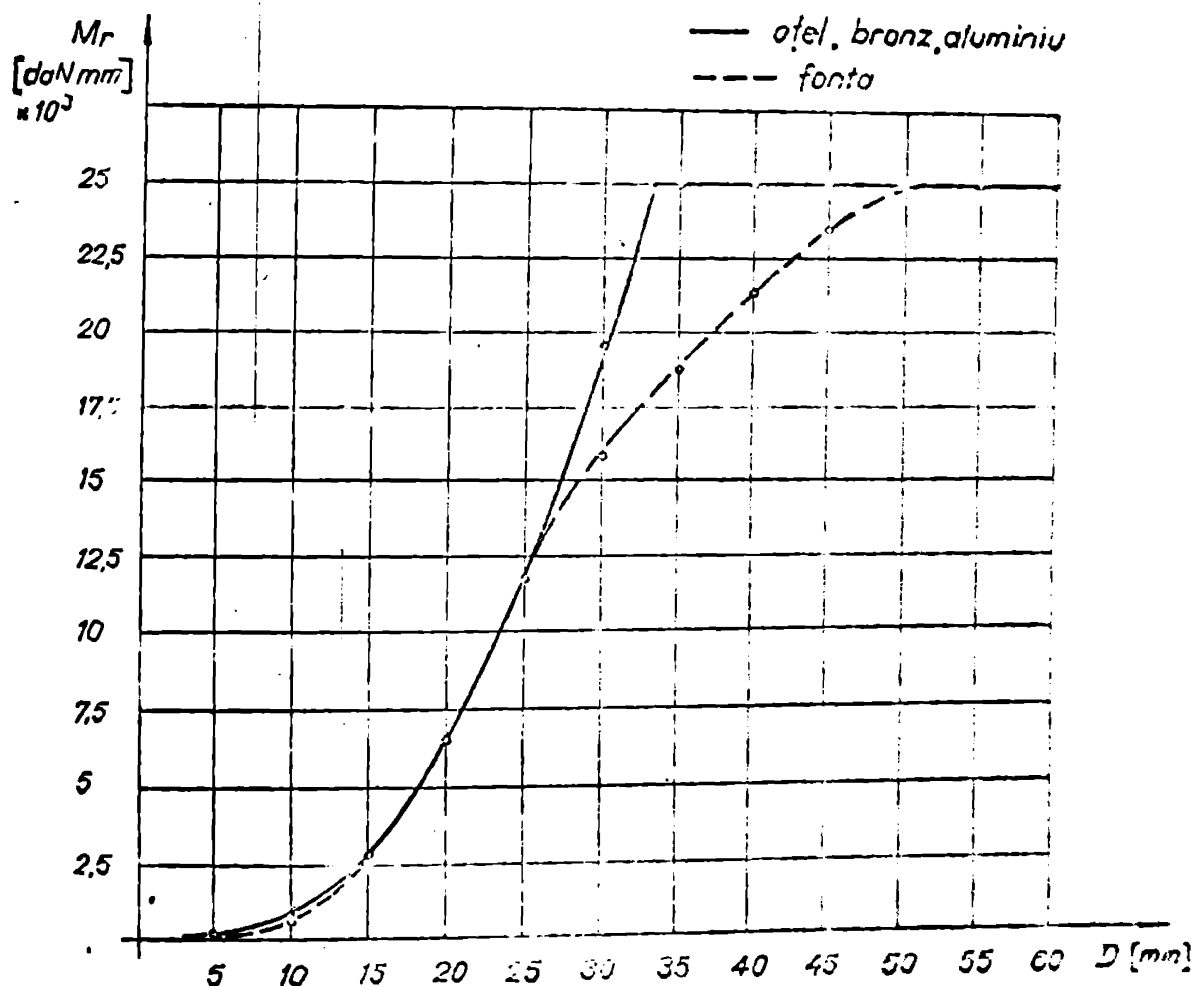


Fig.5.6. Momentul de torsiune de referință

Conform acestor diagrame se reglează pe mașină valoarea momentului de torsiune de referință funcție de diametrul burghiului și de materialul de prelucrat.

Deoarece calculele necesare pentru stabilirea momentului de torsiune de referință sînt relativ laborioase necesitînd un volum mare de muncă, s-a elaborat un program de calcul folosind calculatorul electronic.

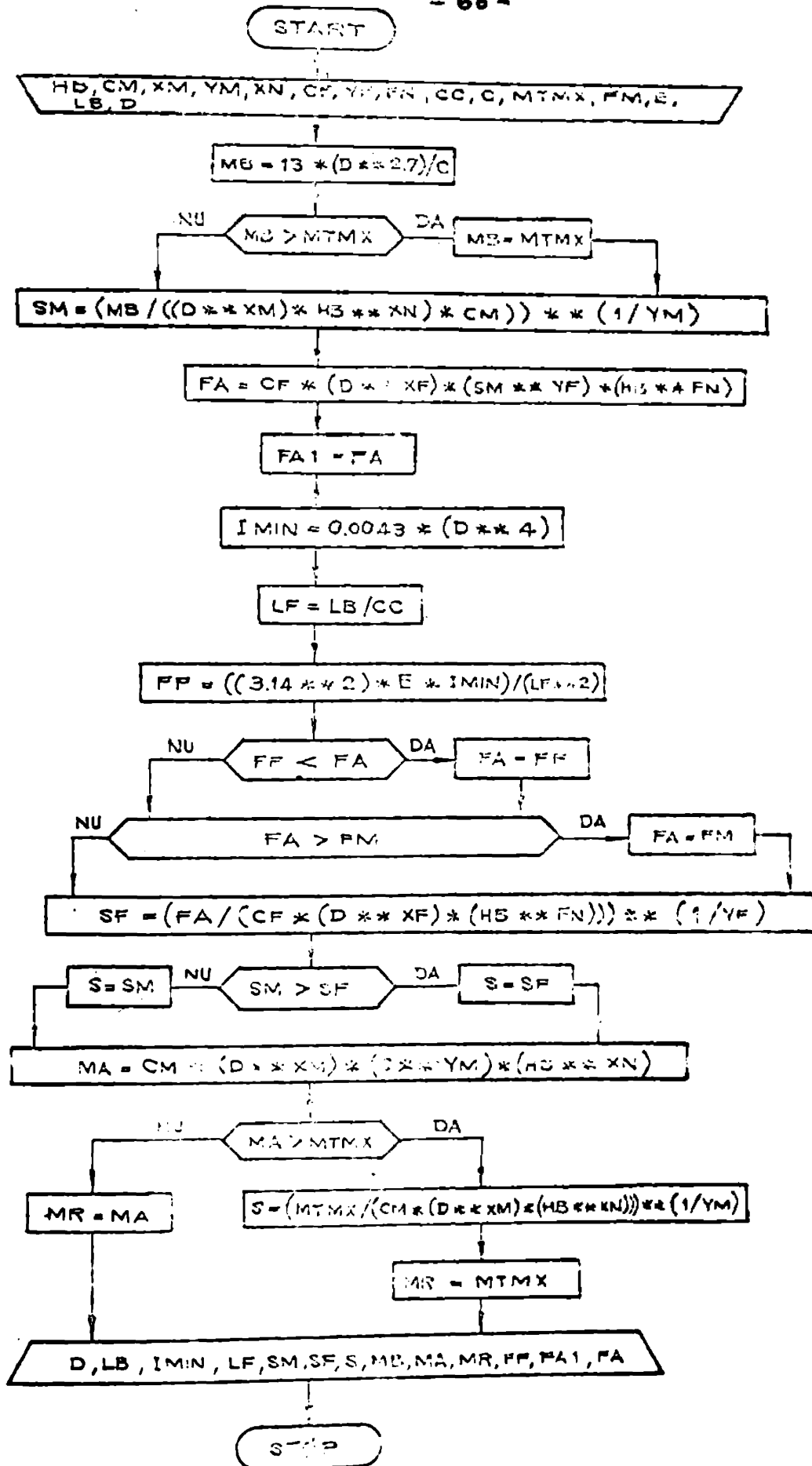


Fig.5.7. Organigrama programului pentru calculul momentului de torsiune de referință.

Organigrama prezentată în figura 5.7 cuprinde etapele descrise mai sus.

Pentru întocmirea programului trebuie definite de către utilizator următoarele mărimi, simbolizate după cum urmează :

- MTMX - momentul de torsiune maxim admis de către mașina de găurit [daN.mm] ;
- FM - forța axială maximă admisă de mașina de găurit [daN] ;
- D - diametrul burghiului [mm] ;
- LB - lungimea burghiului [mm] ;
- HB - duritatea materialului în unități Brinell ;
- C - coeficient de siguranță din expresia momentului de torsiune admis de mașină ;
- CC - coeficient critic de flambaj ;
- E - modulul de elasticitate al materialului burghiului [daN/mm²] ;
- CM - constantă de material din expresia momentului de torsiune la găurire ;
- XM - exponent al diametrului burghiului din expresia momentului de torsiune la găurire ;
- YM - exponent al avansului din expresia momentului de torsiune la găurire ;
- XN - exponent al durității materialului de prelucrat din expresia momentului de torsiune la găurire ;
- CF - coeficient de material în expresia forței axiale la găurire ;
- XF - exponent al diametrului burghiului din expresia forței axiale la găurire ;
- YF - exponent al avansului din expresia forței axiale la găurire .

Mărimile calculate de către calculator în urma rulării programului (și notațiile utilizate) sânt :

- MB - momentul de torsiune maxim admis de către burghiu [daN.mm] ;
- SM - avansul calculat din mărimea momentului de torsiune la burghiu [mm/rot] ;
- FAI - forța axială calculată utilizând SM [daN] ;
- ININ - momentul de inerție minim al burghiului [mm⁴] ;
- LF - lungimea critică de flambaj [mm] ;
- FP - forța critică de flambaj [daN] ;

- FA - forța axială curentă la burghiu [daN];
- SF - avansul calculat din mărimea forței axiale [mm/rot];
- S - avansul de lucru adoptat [mm/rot];
- MA - momentul de torsiune la găurire [daN.mm];
- MR - momentul de torsiune de referință [daN.mm].

Folosind acest program de calcul electronic se poate stabili într-un timp foarte scurt mărimea de referință M_r a momentului de torsiune.

5.2.4. Variația avansului și modul de comandă al retragerilor periodice pentru curățirea și răcirea burghiului.

Procesul de prelucrare decurge astfel încât momentul de torsiune din proces să se păstreze cât mai constant și egal cu momentul de torsiune de referință M_r .

Se poate scrie egalitatea :

$$M_r = M_a + \sum M_f$$

în care:

M_a este momentul de așchiere ;

$\sum M_f$ - suma momentelor de frecare dintre burghiu și orificiu și dintre așchii, burghiu și orificiu.

Pontru cazul $\sum M_f = 0$ (5.0)

$$M_b = M_a = C_M \cdot D^{x_M} \cdot s^{y_M} \cdot HB^n \quad [\text{daN}\cdot\text{mm}]$$

rezultă că:

$$M_r = C_M \cdot D^{x_M} \cdot s^{y_M} \cdot HB^n + \sum M_f \quad (5.11)$$

iar avansul s va avea valoarea variabilă :

$$s = \sqrt[1/y_M]{\frac{M_r - \sum M_f}{C_M \cdot D^{x_M} \cdot HB^n}} \quad [\text{mm/rot}] \quad (5.12)$$

fiind maxim la începutul prelucrării și scăzând pe măsură ce $\sum M_f$ crește.

Variația avansului s funcție de D stabilită pe baza momentului de torsiune de referință M_r pentru cazul când $\sum M_f = 0$ și pentru câteva materiale de prelucrat este prezentată în figura 5.2. Modificări față de diagrama din figura 5.3 s-au produs pentru burghie sub 10 mm diametru și pentru fontă pentru burghie între 25...50 mm diametru.

Din relația 5.12 se observă că dacă $\sum M_f$ tinde la M_r , s tinde la 0.

Se pune deci problema cât se poate admite scăderea avansului față de valoarea inițială pentru a stabili momentul în care se comandă retragerea sculei pentru curățire și răcire.

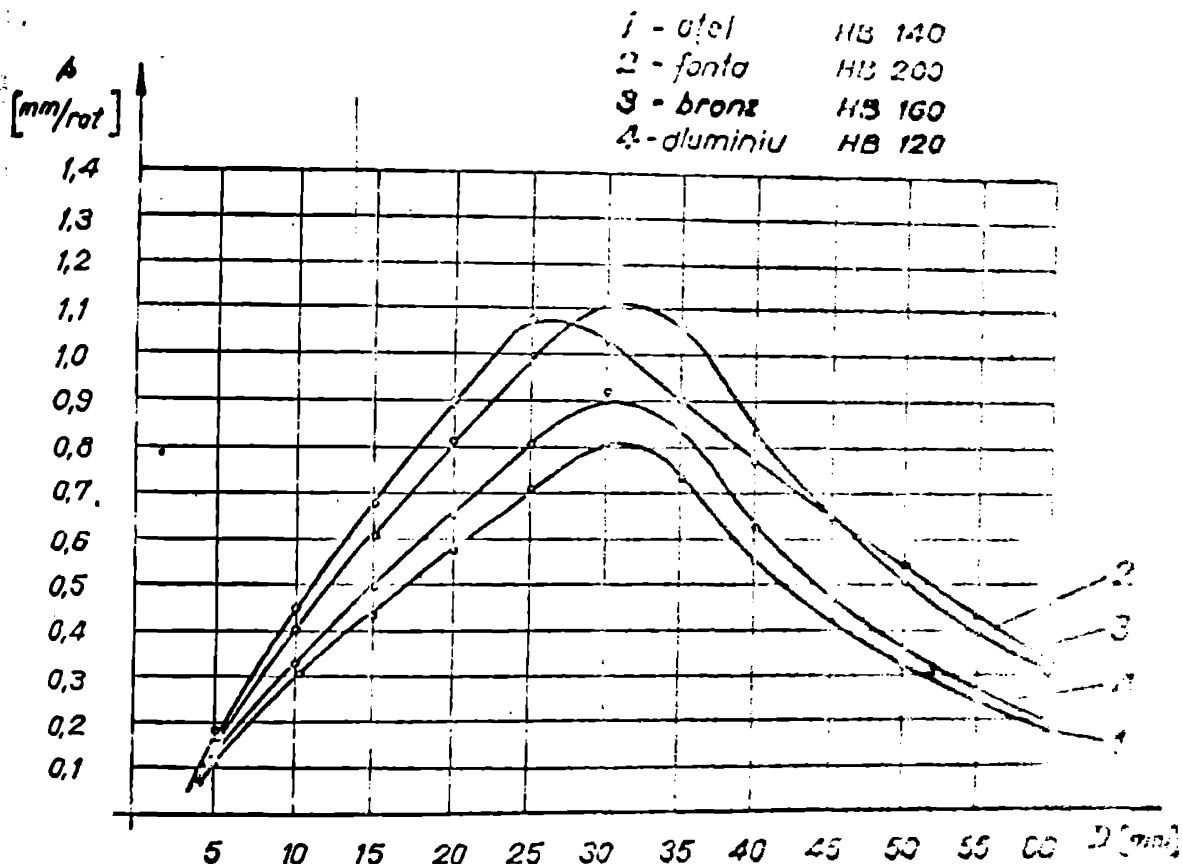


Fig. 5.8. Variația avansului pentru momentul de torsiune de referință

În literatura de specialitate sînt puține indicații referitoare la avansul minim admis s_{min} funcție de d metr. O recomandare este redată în tabelul 5.2

Tabelul 5.2

Diamețul burghiului D [mm]	2÷3	3÷4	4÷7	7÷10	10÷13	13÷15	15÷25	25÷30	30÷60
Avansu: minim admis s_{min} [mm/rot]	0,03	0,04	0,05	0,08	0,1	0,12	0,15	0,15	0,2

Din compararea valorilor din tabelul 5.2 cu cele din tabelul 3.1 se observă că scăderea avansului este acceptabilă până la cca 20...25% din valoarea avansului inițial.

Pentru a putea face comanda retragerilor periodice trebuie să se compare s [mm/rot] cu s_{min} [mm/rot].

Deoarece mașina pe care se instalează CA trebuie să aibe avans reglabil continuu acesta este realizat sub forma unei viteze de avans s_v [mm/min] cu lanț cinematic independent și pentru a se putea realiza compararea, s_v trebuie transformat în s [mm/rot]. Transformarea se poate face determinându-se cu un tahogenerator tensiunea U_n proporțională cu turația la arborele principal și cu un alt tahogenerator tensiunea U_{s_v} proporțională cu viteza de avans și efectuându-se împărțirea tensiunilor respective :

$$s = \frac{s_v}{n} = \frac{U_{s_v}}{U_n} \quad [\text{mm/rot}] \quad (5.13)$$

Realizarea unei împărțiri electronice cu tensiuni analogice s-a dovedit mai scumpă în realizare și complică deci partea electronică a comenzii adaptive. Din această cauză s-a încercat realizarea retragerilor pe baza comparării forței axiale inițiale F_{ai} corespunzătoare începutului procesului de prelucrare, când avansul este maxim, cu forța axială finală F_{af} corespunzătoare avansului minim admis (la retragerea burghiului pentru curățire-răcire). Valorile forței axiale inițiale F_{ai} funcție de diametrul burghiului și câteva materiale de prelucrat sînt prezentate în figura 5.4 și respectiv în tabelul 5.3.

Pentru avansurile minime admise s_{min} de 25% din valoarea avansului inițial, se determină cu relația (5.6) forța F_{af} . Valorile s_{min} și F_{af} sînt prezentate în tabelul 5.3. Deoarece memorizarea electronică a valorii F_{ai} (necesară pentru compararea cu F_{af}) este relativ complicată, s-a recurs la folosirea valorii momentului de torsiune din proces care în regim staționar este egal cu momentul de torsiune de referință M_r . Dependințele dintre F_{ai} și M_r se observă din figurile 5.4 și respectiv 5.6 și sînt prezentate și în tabelul 5.3.

Rezultă că retragerile periodice se stabilesc pe baza comparării semnalului electric corespunzător momentului de torsiune (și indirect a forței axiale F_{ai}) cu semnalul electric corespunzător forței axiale curente din procesul prelucrării și la atingerea valorii forței F_{af} care corespunde avansului minim admis s_{min} se comandă retragerea pentru curățire-răcirea burghiului.

În acest fel se simplifică partea electronică a sistemului de comandă, calculul acestuia fiind prezentat în paragraful 6.2.4.5.

Tabel 5.9

Diam. burghiu D [mm]	Materialul de prelucrat															
	Oțel HB 140				Fonta HB 200				Sranz HB 150				Aluminiu HB 120			
	δ_{min} [mm/rot]	F_{af} [daN]	F_{ai} [daN]	M_r [daNm]	δ_{min} [mm/rot]	F_{af} [daN]	F_{ai} [daN]	M_r [daNm]	δ_{min} [mm/rot]	F_{af} [daN]	F_{ai} [daN]	M_r [daNm]	δ_{min} [mm/rot]	F_{af} [daN]	F_{ai} [daN]	M_r [daNm]
5	0,025	23	45	0,076	0,04	23,7	25	0,074	0,035	16	25	0,103	0,03	19	20	0,03
10	0,075	95	200	0,8	0,1	99	200	0,6	0,09	67	200	0,8	0,08	73	200	0,8
15	0,11	195	520	3,0	0,17	227	682	3,0	0,15	152	480	3,0	0,13	156	487	3,0
20	0,145	316	825	6,5	0,22	372	1140	6,5	0,2	255	804	6,5	0,17	232	680	6,5
25	0,18	459	1200	12,0	0,28	563	1720	12,0	0,25	381	1210	12,0	0,21	365	960	12,0
30	0,2	593	1592	19,5	0,26	637	2000	16,35	0,3	529	1678	19,5	0,24	491	1262	19,5
35	0,19	668	1762	25	0,216	643	2000	18,77	0,27	567	1858	25	0,22	528	1497	25
40	0,135	601	1585	25	0,155	647	2000	21,23	0,22	550	1663	25	0,17	533	1328	25
45	0,1	548	1470	25	0,155	647	2000	23,53	0,16	480	1491	25	0,13	488	1219	25
50	0,08	520	1343	25	0,14	647	1934	25	0,13	452	1356	25	0,11	464	1117	25
55	0,06	468	1271	25	0,11	587	1760	25	0,1	403	1243	25	0,09	443	1113	25
60	0,05	450	1186	25	0,09	545	1616	25	0,08	365	1142	25	0,07	406	1113	25

5.2.5. Verificarea unghiului de așezare funcțional al burghiului

Prin ascuțirea burghiilor se asigură un unghi de așezare α^* . Unghiul de așezare funcțional α^* este determinat și de mărimea avansului cu care se execută prelucrarea. Având în vedere că prin comanda adaptivă se asigură avansuri mai mari la burghiu, este necesară verificarea acestui unghi pentru a nu se ajunge la situația $\alpha^* \leq 0$ datorită creșterii avansului.

Conform notațiilor din figura 5.9 unghiul de așezare funcțional se calculează cu relația :

$$\alpha^* = \alpha - \theta = \alpha - \arctg \frac{s}{V D_0} \quad (5.14)$$

în care: θ este unghiul de înclinare al traiectoriei în procesul de așchiere;

s - avansul [mm/rot];

D_0 - diametrul miezului burghiului

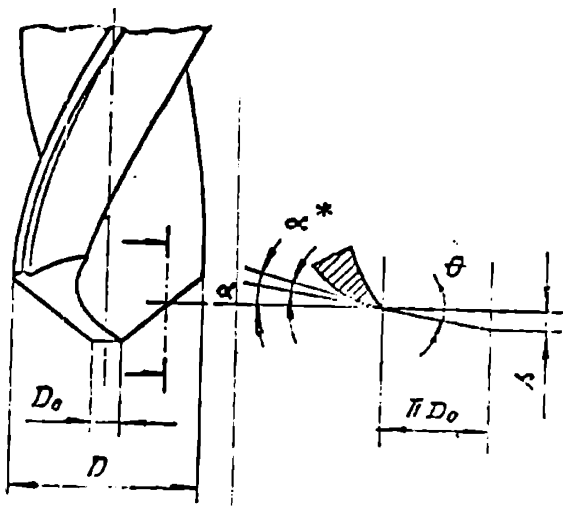


Fig. 5.9. Unghiurile de așezare ale burghiului. Îndeplinită în situația comenzii adaptive.

Unghiul α este recomandat /50/, /65/, /60/ funcție de diametrul burghiului ca în tabelul 5.4.

Diametrul miezului burghiului D_0 are valorile medii prezentate în tabelul 5.5.

Cu aceste valori s-au determinat unghiurile α^* pentru așezările maxime (conform fig. 5.7) rezultatele fiind prezentate în tabelul 5.6.

Se observă că $\alpha^* \geq \alpha^*_{\min} = 2...3^\circ$ și deci condiția unghiului de așezare funcțional este îndeplinită în situația comenzii adaptive.

Tabelul 5.4

Diam. burgh. [mm]	≤ 16	$15 \div 30$	> 30
Unghiul de așezare α [°]	$14 \div 11$	$12 \div 9$	$11 \div 8$

Tabelul 5.5

Diam. burghiu [mm]	≤ 12	$13 \div 80$
Di. miez. h. D_0 [mm]	$(0,19...0,15)D$	$(0,145 + 0,125)D$

Tabelul 5.6

Diam. burgh. D [mm]	Unghi de așezare α [°]	Avans maxim A [mm/rev]	Diam. miez burgh. D_0 [mm]	Unghi de așezare funcțional α^* [°]
5	12	0,15	1	11,3
10	13	0,35	1,7	12,2
15	12	0,60	2,2	6,3
20	11	0,9	2,9	5,3
25	10	1,03	3,6	4,1
30	10	1,15	4,2	4,1
35	9	1,05	4,3	4,1
40	9	0,84	5,0	4,3
45	9	0,65	5,85	4,0
50	8	0,65	6,5	4,1
55	8	0,44	7,1	4,0
60	8	0,33	7,5	4,1

5.3. Algoritmul comenzii adaptive a avansului funcție de criteriul preciziei orificiului prelucrat.

Prelucrarea găurii cu avans mare, conform criteriului capacității de producție maxime, poate avea ca efect o diminuare a preciziei orificiului prelucrat (abaterea axei găurii, calitatea a suprafeței prelucrate în special dacă nu se face o ghidare bună a burghiului la începutul prelucrării. Dacă se impune o anumită precizie a găurii și o calitate mai bună a suprafeței prelucrate, este necesară limitarea mărimii avansului (la valori mai mici decât cele stabilite conform criteriului capacității de producție maxime).

Deși în literatura de specialitate nu se găsesc date suficiente pentru stabilirea dependenței dintre mărimea avansului și precizia găurii prelucrate, totuși /65/ se fac unele recomandări. Tabelul 3.1. conține valorile avansurilor funcție de precizia prelucrării pentru câteva materiale.

Pentru acestea se calculează cu relația (5.6) momentul de torsiune de referință M_r' (care în acest caz nu mai este limitat de către rezistența burghiului, dar poate fi limitat de momentul maxim admis de către mașină și respectiv de forța axială) și se obțin diagramele din figura 5.10.

În această situație prin comanda adaptivă se asigură diminuarea avansului inițial pe măsura pătrunderii burghiului în materialul de prelucrat, până la atingerea valorii avansului minim admis, apoi retragerea pentru curățirea - răciră burghiului și reluarea aşchierii etc.

Desigur că în acest caz capacitatea de producție este diminuată, în special pentru burghie având diametre cuprinse între 10 ... 40 mm și acest mod de conducere a procesului de aşchiere se recomandă numai pentru piese cu rigiditate mică cu pereți subțiri sau în cazul unei ghidări insuficiente a burghiului la pătrunderea în material.

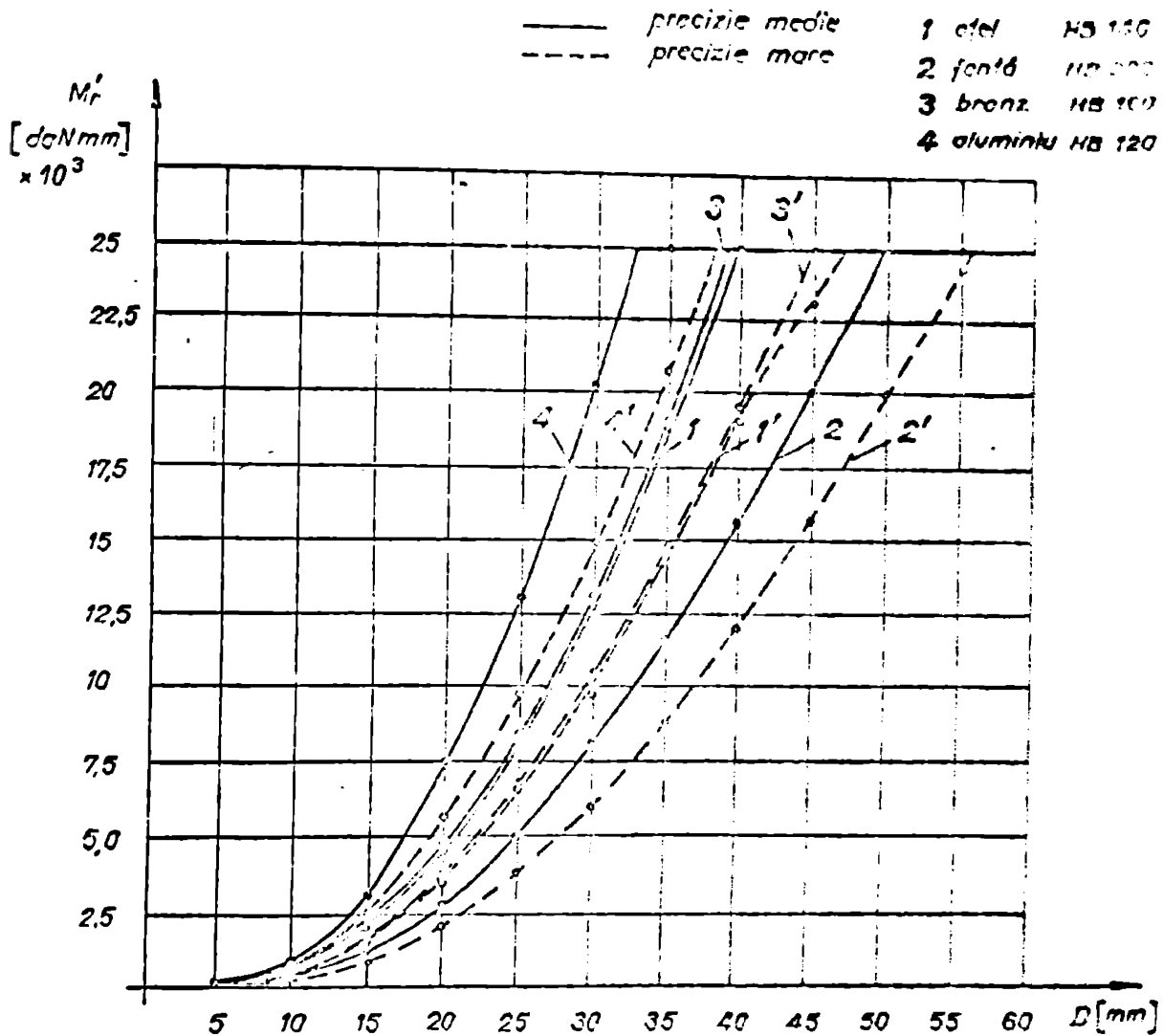


FIG. 5.10. Momentul de torziune de referință funcție de criteriul preciziei de prelucrare.

5.4. Modalități pentru comanda regimului tranzitoriu la pătrunderea burghiului în material în condițiile comenzii adaptive

Faza de pătrundere a burghiului în material este un moment important al ciclului de prelucrare. În această fază, la atingerea burghiului cu piesa forța axială crește brusc (datorită tăgăului transversal al burghiului) la o valoare ce reprezintă 40... 60 % din valoarea maximă și în continuare crește relativ liniar pînă la forța axială maximă. Momentul de torziune la atingerea piesei de către burghiu se datorește numai frecărilor dintre tăgăul transversal și materialul piesei și crește la valoarea maximă pentru cazul concret, pe măsură ce partea apăsătoare pătrunde în materialul piesei.

Deoarece variația momentului de torziune este mai lentă și are valoare mică în faza de stingere a burghiului cu materialul, comanda adaptivă în mod normal, introduce un avans mare care conduce la creșterea peste valorile admise ale forței axiale (la ruperea burghiului prin flambaj sau supracolicitarea lagărelor arborelui principal și a acționării de avans).

Se pune problema modului de conducere a procesului de aşchiere în faza de pătrundere astfel încât să nu apară inconvenientul prezentat.

5.4.1. Limitarea vitezei de apropiere a burghiului la valoarea avansului tehnologic maxim admis.

Această modalitate pentru comanda regimului tranzitoriu este dintre cele mai simple. La acționarea de avans (sau prin comanda adaptivă) se realizează limitarea valorii vitezei maxime de apropiere la avansul tehnologic maxim s_{vm} .

Valoarea acestuia se determină cu relația :

$$s_{vm} = n_p \cdot s \quad [\text{mm/min}]$$

în care:

n_p este turația burghiului în faza de pătrundere

s - avansul maxim posibil (precizat în fig.5.8 sau prin programul de calculator)

Dacă turația burghiului nu se reglează adaptiv rezultă că n_p este turația n instalată la burghiu în vederea prelucrării. Astfel în cazul unei acționări electrice cu motor de curent continuu alimentat printr-un variator cu tiristori ca în cazul maginii GP 45 NC/AC, se limitează tensiunea de comandă a variatorului cu tiristori (a cărei valoare maximă este de $+10 V_{cc}$) Sistemul a fost utilizat și de autor prin introducerea unui potențiomtru P4 serie cu potențiomtrul de comandă al avansului în comanda adaptivă P5 așa cum se vede în figura 5.11 (a se vedea și paragraful 6.2.3 și figurile 6.10 și 6.23).

Se observă că tensiunea de comandă Udă a variatorului cu tiristori depinde de poziția cursorului potențiomtrului P4 de limitare a avansului maxim s_{vm} și de poziția cursorului P5 centru instalarea avansului prin comanda adaptivă. Dacă se stabilește prin reglaj inițial valoarea lui P4 rezultă ca la începerea prelucrării se realizează un avans limitat s_{vm} (poziția

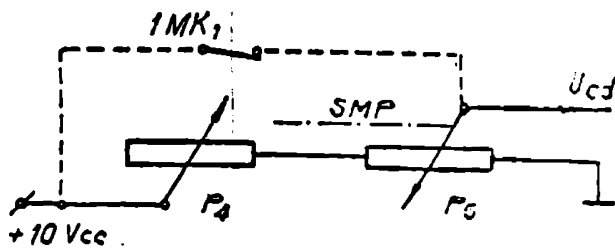


Fig. 5.11. Limitarea valorii maxime a avansului.

Limitarea valorii maxime a avansului se poate face și prin alte metode de exemplu prin alegerea factorului de amplificare al unui circuit amplificator, metodă aplicată de autor la micromagina cu comandă adaptivă. (a se vedea paragr.(1.2)).

Limitarea valorii vitezei maxime de apropiere a burghiului față de piesă la valoarea avansului s_{vm} are însă o mare deficiență pentru cazul prelucrărilor găurilor adânci la care se necesită retrageri repetate ale burghiului pentru curățire-răcire, datorită creșterii timpilor auxiliari.

5.4.2. Limitarea vitezei de apropiere a burghiului la valoarea avansului s_{vm} numai la finele cursei de apropiere.

Pentru a obține o capacitate de producție cât mai mare este necesar ca timpii auxiliari (pentru apropiere și retragerea burghiului) să fie minimi, adică viteza de instalare să fie cât mai mare.

Rezultă că ar fi ideal ca deplasarea burghiului să se facă cu viteză de apropiere maximă și la atingerea piesei să se realizeze schimbarea extrem de rapidă a acesteia cu avansul maxim admis s_{vm} . Dacă s-ar admite ca deplasarea burghiului la schimbarea avansului să fie de cea 0,1 mm ar rezulta că durata tranzitorie ar trebui să nu depășească 3 ms. Asemenea durate tranzitorii sînt imposibil de obținut chiar pentru motorul electric singur (unde se pot realiza durate tranzitorii de cea 10 ms / 9 / pentru motoare electrice cu inerție foarte mică) fără să țină cont de inerțiile restului subansamblilor deplasabile. Înădăi impactul burghiului cu piesa este periculos pentru integritatea acesteia sau a mașinii.

cursoorul lui P5 este la limita din stînga deoarece momentul de torziune la bordurile principale la rotirea în gol a acestuia este mai mic decît momentul de torziune de referință) (a se vedea paragrafele 6.2.3 și 6.2.4.4.).

din acest motiv s-a căutat o soluție pentru comanda ciclului de prelucrare cu retrageri periodice prin care să se realizeze apropierea rapidă a sculei până la o anumită distanță dintre vârful burghiului și piesă, (reglată printr-un limitator de cursă) după care să se instaleze valoarea avansului maxim admis s_{vm} și aceasta să se realizeze, indiferent de momentul retragerii (poziția burghiului), care se stabilește prin comandă adaptivă. Ciclul de prelucrare să se reia în aceleași condiții (adică apropiere rapidă a burghiului până la distanța prestabilită de fundul găurii urmată de schimbarea la valoarea s_{vm} etc.)

Sistemul realizat reprezintă o contribuție originală a autorului.

Schematic sistemul de comandă este prezentat în figura 5.12.

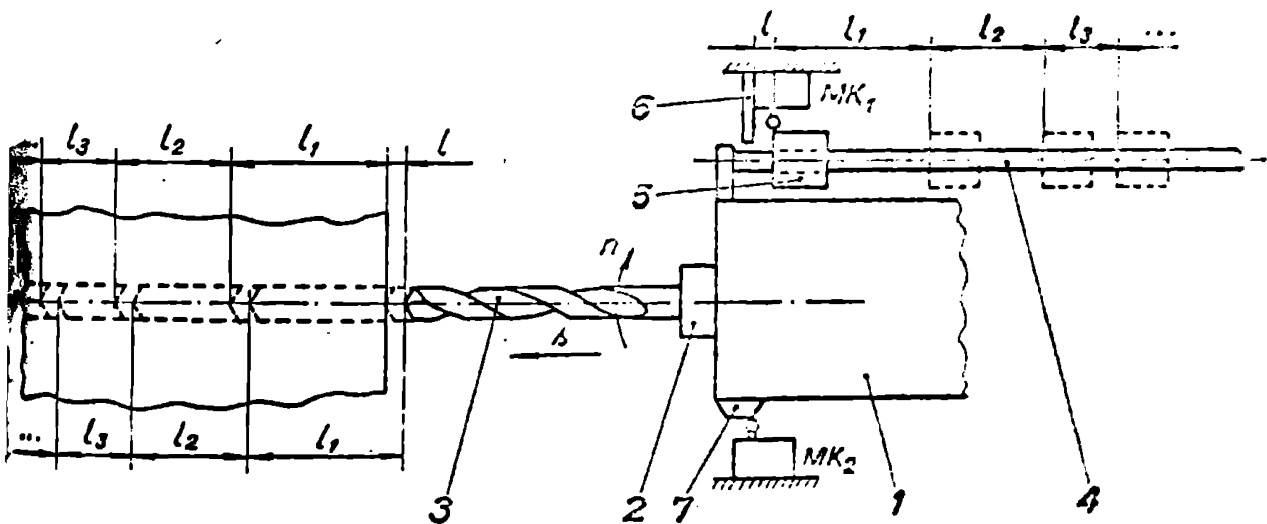


Fig. 5.12. Limitarea vitezei de avans rapidă numai la finele cursei de apropiere.

Față de carul găuritor 1 care susține arborele principal 2 cu burghiul 3 și realizează mișcarea de avans este fixat un element de ghidare 4 (tijă) pe care se găsește o bucă (cană) 5 alunecătoare dar cu fricțiune față de 4 (forța de frecare dintre 5 și 4 trebuie să fie suficientă ca 4 să nu se deplaseze față de 5 când acționează limitatorul de cursă MK_1)

Față de subansamblul fix este montat limitatorul de cursă MK_1 și opritorul 6 având posibilitatea reglării distanței (până la MK_1).

Cursa de apropiere rapidă a burghiului se execută până când 5 atinge MK_1 . În acest moment se comandă schimbarea vitezei de deplasare rapidă cu avansul maxim admis s_{vm} . Schimbarea se face pe lungimea de cursă 1 (stabilită la valoarea minimă în funcție de dinamica regimului transitoriu) astfel încât la atingerea piesei burghiul are valoarea avansului s_{vm} .

La finele cursei 1 cama 5 se sprijină pe opritorul 6 și alunecă față de tija 4.

În continuare prelucrarea se desfășoară în condițiile comenzii adaptive (avansul curent micșorându-se față de valoarea s_{vm} pe măsura creșterii adâncirii găurii).

La atingerea avansului minim admis se comandă retragerea burghiului (prin sistemul de comandă al ciclului de prelucurare al comenzii adaptive) iar 5 se deplasează solidar cu 4 pe lungimea l_1 până când 1 ajunge în poziția inițială când cama 7 comandă limitatorul de cursă MK_2 pentru reluarea ciclului. Se revine apoi la apropierea rapidă pe cursa l_1 până când 5 atinge MK_1 etc.

Dacă lungimea bugei 5 este mai mare decât 1 implementarea sistemului în schema de comandă a mașinilor dotate de către autor cu comenzi adaptive este foarte ușoară. Astfel pentru GP 45 NC/AC se introduce contactul normal închis al MK_1 între borna de +10 Vcc și cursorul potențiometrului P5 reprezentat cu linie întreruptă în figura 5.11. (a se vedea și figurile 6.10 și 6.23) iar pentru micromaginta de găurit, contactul normal închis al limitatorului de cursă MK_1 se conectează paralel cu contactele butonului B₁ (conform figurii 6.7).

5.5. Creșterea capacității de producție în condițiile comenzii adaptive la găurire.

Capacitatea de producție la găurire se exprimă frecvent în mm/min de orificiu prelucrat având diametrul ca parametru. Pentru a aprecia capacitatea de producție este necesar să se analizeze evoluția vitezei de avans s_v [mm/min] în condițiile CA.

Viteza de avans este:

$$s_v = n \cdot s \quad [\text{mm/min}] \quad (5.14)$$

Din relațiile (5.5) și (5.6) se determină :

$$s = \left(\frac{13 \cdot D^{2,7-x_m}}{c \cdot C_M \cdot HB^n} \right)^{\frac{1}{y_m}} \quad [\text{mm/rot}] \quad (5.15)$$

și pentru $\alpha = 6,5$

$$s = \left(\frac{2 \cdot D^{2,7-x_m}}{C_M \cdot HB^n} \right)^{\frac{1}{y_m}} \quad [\text{mm/rot}] \quad (5.16)$$

Din relația (3.3) a vitezei de aşchiere și știind că :

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad [\text{rot/min}] \quad (5.17)$$

rezultă :

$$n = \frac{1000 \cdot C_v \cdot D^{z_v-1} \cdot K_{vp}}{\pi \cdot T^m \cdot s^{y_v}} \quad [\text{rot/min}] \quad (5.18)$$

Deci :

$$s_v = \frac{318 \cdot C_v \cdot D^{z_v-1} \cdot K_{vp}}{T^m \cdot s^{y_v}} \cdot \left(\frac{2 \cdot D^{2,7-x_m}}{C_M \cdot HB^n} \right)^{\frac{1}{y_m}} \quad [\text{mm/min}] \quad (5.19)$$

Înlocuind s din (5.16) în (5.19) și operînd se obține :

$$s_v = \frac{318 \cdot C_v \cdot D^{z_v-1} \cdot K_{vp}}{T^m} \left(\frac{2 \cdot D^{2,7-x_m}}{C_M \cdot HB^n} \right)^{\frac{1-y_v}{y_m}} \quad [\text{mm/min}] \quad (5.20)$$

relație din care se observă că viteza de avans depinde de diametru, durabilitatea impusă burghiului și materialul de prelucrat. Aceasta este valabil în situația în care prin CA se asigură și reglarea turății conform modificării avansului și a durabilității burghiului. Relația (5.20) este valabilă pentru domeniu de variație al diametrului burghiului între cca 10... 25 mm, domeniu în care nu sînt depășite valorile restrictive pentru momentul de torsiune și/sau forța axială a mașinii. Pentru a ține cont și de influența acestor restricții se consideră avansul realizat și condițiile CA (ca cel prezentat în figura 5.8) și ținînd cont de expresia (5.18) se poate scrie că:

$$s_v = \frac{318 \cdot C_v \cdot D^{z_v-1} \cdot K_{vp} \cdot s^{1-y_v}}{T^m} \quad [\text{mm/min}] \quad (5.21)$$

Variația vitezelor de avans funcție de diametru pentru unele materiale de prelucrat în condițiile existenței CA comparativ cu condițiile clasice (fără CA) sînt prezentate în figura 5.13. Regimurile fără CA sînt stabilite ținînd cont de limitările impuse de către mașino-uneltă.

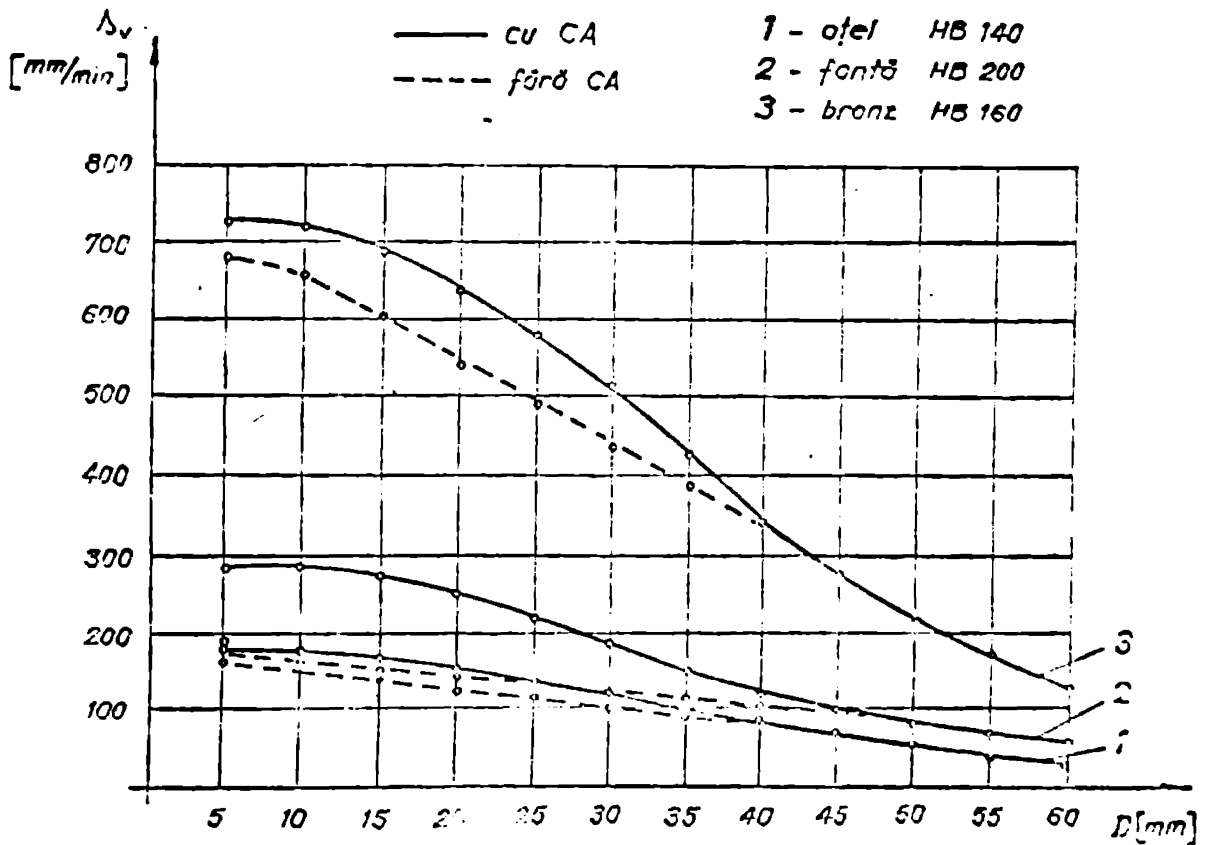


Fig. 5.13. Variația vitezei de avans în condițiile clasice și utilizînd sistemul de comandă adaptivă.

Se observă că diferența dintre vitezele de avans (proporționale sau identice cu capacitățile de producție) este cu atât mai mare cu cât diferența dintre avansul stabilit prin comanda adaptivă și cel stabilit prin calculele tehnologice convenționale este mai mare și respectiv valoarea exponentului ($1-\gamma_v$) este mai mică (γ_v mai mare).

În condițiile în care adîncimea orificiului prelucrat nu impune retrageri periodice (cu diminuarea avansului) creșterea capacității de producție este de pînă la cea 30% pentru oțel, 70% pentru fontă și 20% pentru bronz.

5.6. Concluzii

Pentru stabilirea algoritmului CA a avansului de găurire s-a ales ca mărime controlată momentul de torsiune la burghiu. Pentru a ține cont și de limitările datorită forței axiale în proces, precum și pentru comanda ciclului de prelucrare, CA controlează și valoarea curentă a forței axiale.

S-a găsit o metodologie de determinare a momentului de torsiune de referință prin care se ține cont de influențele factorilor restrictivi ai procesului de prelucrare (momentul de torsiune maxim admis de burghiu sau de mașina-unelte, stabilitatea axială a burghiului și forța axială maximă admisă de mașină). Metodologia constă în determinarea valorii momentului de torsiune admis de către burghiu limitat de momentul maxim admis de către mașină și stabilirea avansului și a forței axiale ce ar rezulta la prelucrare. Dacă forța axială depășește forța critică de flambaj sau forța admisă de mașină, se limitează această forță și se recalculează avansul și respectiv momentul de torsiune care devine moment de torsiune de referință.

Deoarece unii dintre factorii restrictivi sînt specifici mașinii de găurit sau burghiului folosit iar calculul pentru determinarea momentului de torsiune de referință Mr este relativ laborios, s-a întocmit un program de calcul pentru determinarea lui Mr. În felul acesta Mr poate să stabilizeze ușurință, introducîndu-se datele caracteristice (despre burghiu, materialul de prelucrat și mașina de găurit).

Prin metoda de stabilire a Mr prezentată se pot lua în considerare diverse criterii de optimizare a prelucrării, în final stabilindu-se valoarea Mr funcție de diametrul burghiului și materialul de prelucrat, la care trebuie reglată comanda adaptivă.

Creșterea capacității de producție în condițiile comenzi adaptive este în general importantă și este limitată de posibilitățile sculei sau mașinii-unelte.

În procesul aşchierii apar și alte limitări (de ex. puterea mașinii). Asupra modului de reglare a turației la burghiu conform criteriului costului minim al operației și ținînd cont de limitarea puterii se referă /39/.

6. REALIZARI DE COMENZI ADAPTIVE PENTRU AVANS LA MASINI DE GAURIT

In vederea verificării funcționalității unei comenzi adaptive a avansului conform algoritmilor prezentate anterior sau alte algoritmi similare (la care mărimea controlată să fie momentul de torziune și/sau forța axială, iar parametrul reglat să fie avansul) au fost proiectate, executate și încercate două sisteme de comandă adaptivă a avansului :

- sistem de comandă adaptivă pentru prelucrarea găurilor mici (0,3...1 mm);
- sistem de comandă adaptivă pentru prelucrarea găurilor având diametre cuprinse între 3 și 63 mm.

6.1. Micromașină pentru prelucrarea găurilor de diametru mic (0,3...1 mm)

Pentru realizarea și experimentarea unui sistem de comandă adaptivă a avansului la prelucrarea găurilor mici a fost necesară proiectarea și execuția unei micromașini de găurit adecvate. Dintre cerințele de bază ale unei astfel de mașini se enumeră :

- necesitatea realizării unui avans reglabil continuu între anumite limite;
- necesitatea funcționării mașinii în ciclu automat.

Micromașina de găurit realizată are compunerea clasică a unei mașini de găurit cu montant, având masă în coordonate, așa cum se prezintă în figura 6.1.

Atât acționarea principală cât și cea de avans sunt realizate cu electromotoare de curent continuu. Turația la arborele principal este constantă.

Caracteristicile tehnice de bază sînt :

- diametrul de găurire maxim $\varnothing 1,2$ [mm];
- puterea acționării principale 15 [W];
- turația la arborele principal 8500 [rot/min];
- puterea electromotorului pentru acționarea de avans 2 [W];
- intervalul de reglare al avansurilor 0...120 [mm/min]

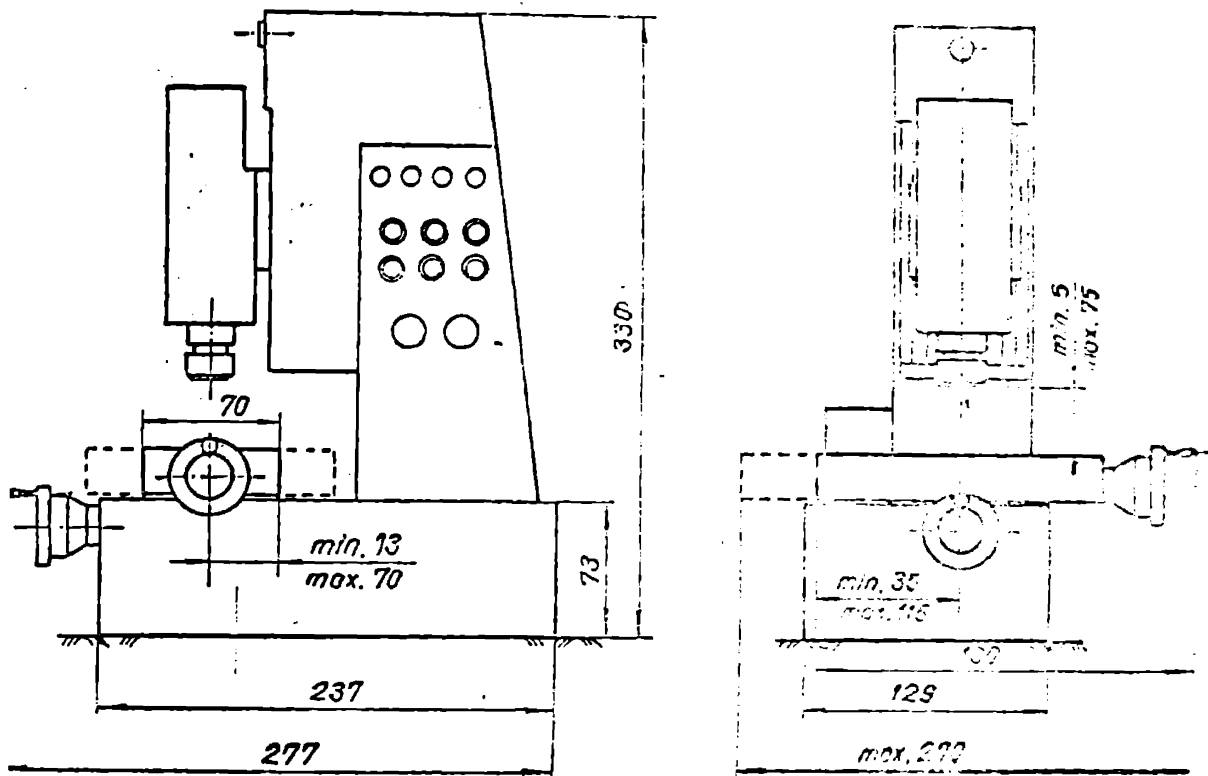


Fig.6.1. Micromăşina de găurit.

- cursa capului găuritor 70 [mm];
- cursa saniei longitudinale 30 [mm];
- cursa saniei transversale 57 [mm];
- dimensiuni de gabarit 19x28x330 [mm];
(longitudinal, transversal, vertical)
- greutatea 5 [kg.]

6.1.1. Acţionare electrică pentru mişcarea de avans la micromăşina de găurit.

Pentru a se putea face o comparaţie între prelucrarea găurilor în condiţii convenţionale (cu parametrii ai regimului de aşchiere constanţi) şi în condiţiile comenzii adaptive, a fost proiectată, realizată şi experimentată o acţionare electrică care să asigure reglarea turaţiei la motorul electric de avans şi menţinerea constantă a turaţiei reglate la variaţii ale momentului de torsiune rezistent (la arborele motorului electric), în vederea realizării unui avans reglabil.

Schema bloc a acestei acţionări este prezentată în figura 6.2, iar schema electronică concretă în figura 6.3.

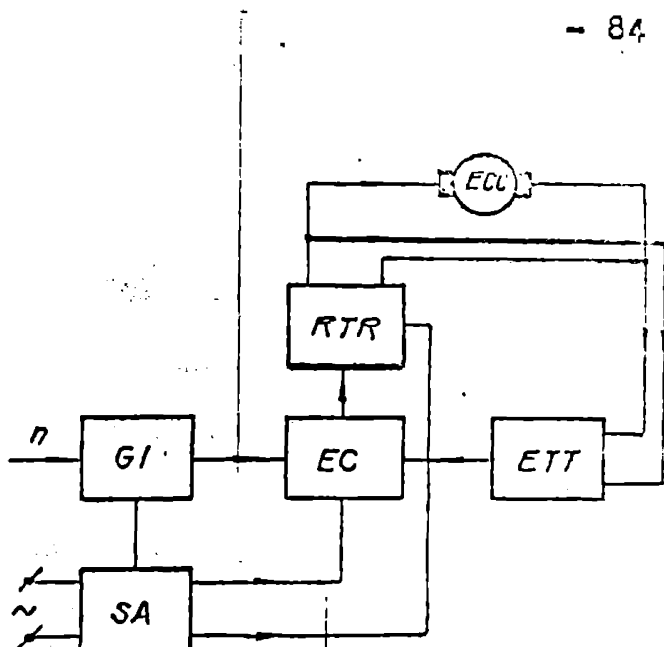


Fig. 6.2. Schema bloc a acționării cu motor de curent continuu.

Avantajul principal al acestei scheme este că nu necesită un element traductor de turație (tahogenerator) separat prin care să se introducă reacția, în vederea comparării cu turația reglată (dorită). Ca traductor de turație este folosit chiar electromotorul de acționare ECC care în perioadele dintre impulsurile tiristorului T_h funcționează ca tahogenerator pentru a asigura semnalul de reacție.

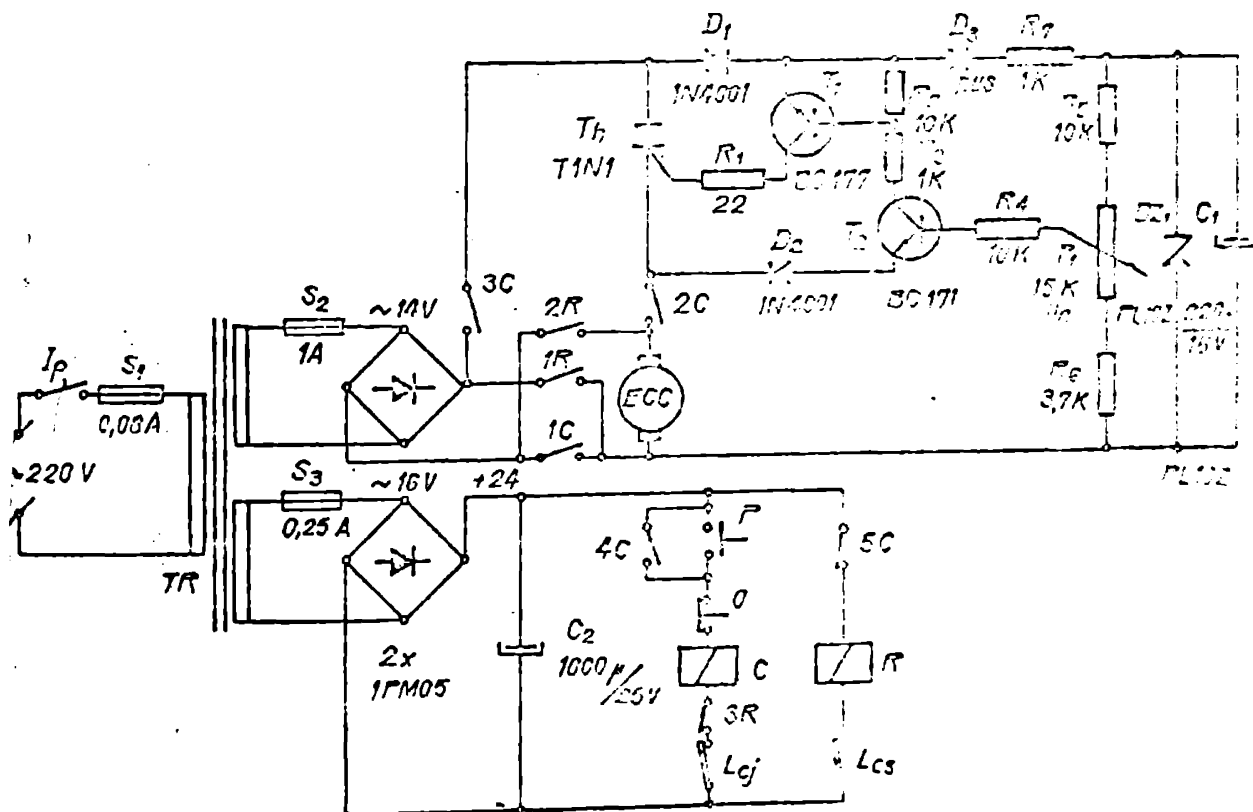


Fig. 6.3. Schema electronică a acționării.

Caracteristicile mecanice artificiale $n = f(K)$ pentru această acționare au fost determinate pe un stand a cărui schemă bloc este prezentată în figura 6.4. Măsurarea turației la ECC se

face cu un tahogenerator TG iar variația momentului rezistent la arborele motor al ECC cu ajutorul unui generator de curent continuu GCC având ca sarcină variabilă rezistorul PI.

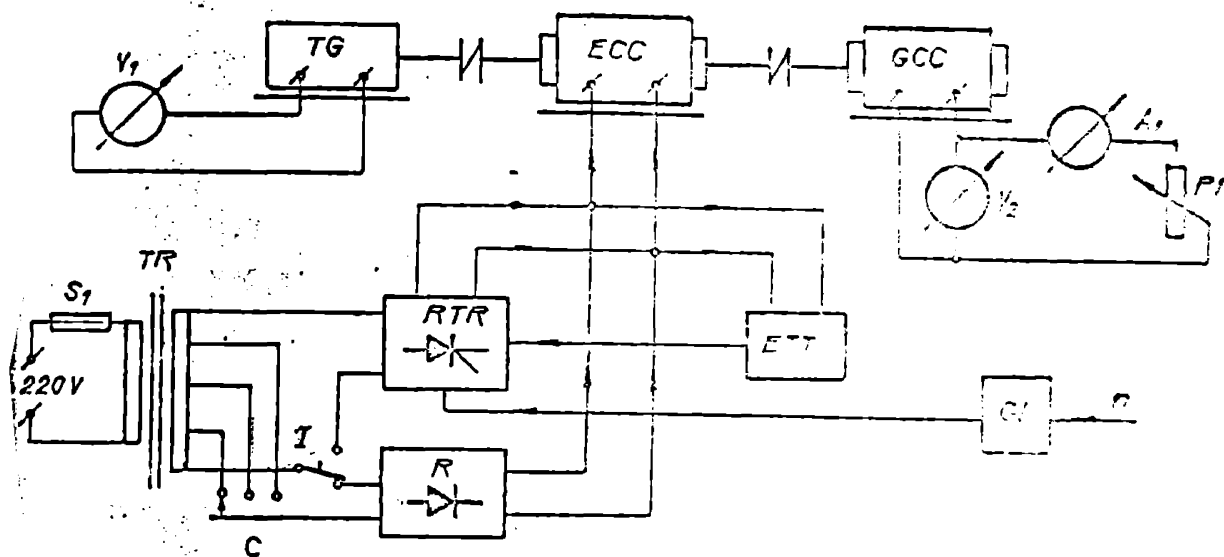


Fig. 6.4. Schema bloc a standului pentru determinarea caracteristicii $n = f(M)$.

Pentru a putea compara caracteristicile s-au făcut experimentări atât în condițiile alimentării ECC de la o sursă de tensiune continuă (nestabilizată) cât și în condițiile acționării prezentate mai sus.

Rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în tabelul 6.1, iar caracteristicile mecanice artificiale în figura 6.5.

Panta caracteristicii se apreciază /52/ prin coeficientul m :

$$m = \frac{dn}{dM} = \frac{d\Omega}{dM} \quad \text{sau}$$

$$m = \frac{n_0 - n}{M} = \frac{\Omega_0 - \Omega}{M}$$

în care:

n_0 ; n sînt turațiile de funcționare în gol și respectiv în sarcină a ECC;

Ω_0 ; Ω - vitezele unghiulare în aceleași condiții;

M - momentul de torsiune.

Se observă că turația la ECC se menține constantă în limite relativ largi de variație a momentului de torsiune și într-un domeniu suficient de mare de reglare a turației la ECC,

pentru acționarea proiectată în comparație cu alimentarea cu trepte de tensiune constantă a ECC.

Tabela 6.1

ECC fără circuit de reglare automată a turației				ECC cu circuit de reglare automată a turației			
Tensiunea la ECC	Mom. de forș. rez. M	Tens. la tahogen. TG	Turația la ECC	Tensiunea la ECC	Mom. de forș. rez. M	Tens. la tahogen. TG	Turația la ECC
[V]	[daNmm]	[V]	[rot/min]	[V]	[daNmm]	[V]	[rot/min]
1,61	0,03	0,95	545,2	1,65	0,032	0,95	552
1,60	0,04	0,93	534,7	1,73	0,041	0,97	537,7
1,60	0,05	0,9	517,5	1,81	0,052	0,95	522,2
1,58	0,07	0,85	486,7	1,87	0,07	0,95	502
1,57	0,09	0,8	460	1,95	0,095	0,95	502
1,56	0,12	0,74	425,5	2,00	0,13	0,95	502
1,55	0,17	0,58	333,5	2,12	0,19	0,95	482
1,53	0,21	0,49	281,7	2,23	0,23	0,95	540,2
1,54	0,26	0,40	230	2,33	0,29	0,95	502
1,52	0,3	0,3	172,5	2,44	0,35	0,95	502
3,6	0,26	3,33	1914,7	3,61	0,265	3,35	1913,2
3,6	0,263	3,31	1903,2	3,65	0,268	3,35	1913,2
3,58	0,265	3,3	1897,5	3,63	0,27	3,35	1913,2
3,57	0,271	3,21	1845,7	3,61	0,275	3,33	1914,7
3,55	0,28	3,1	1782,5	3,65	0,29	3,35	1913,2
3,5	0,34	2,85	1638,7	3,9	0,36	3,35	1913,2
3,42	0,41	2,6	1495	3,96	0,43	3,35	1913,2
3,30	0,47	2,2	1265	4,2	0,48	3,35	1913,2
3,15	0,56	1,8	1035	4,5	0,55	3,35	1913,2
2,96	0,79	1,4	705	5,2	0,80	3,35	1913,2
6,4	0,33	6,5	3737,5	6,4	0,34	6,51	3737,5
6,4	0,336	6,48	3726	6,55	0,345	6,49	3737,5
6,38	0,348	6,45	3708,7	6,7	0,354	6,52	3737,5
6,35	0,362	6,4	3685	6,85	0,371	6,49	3737,5
6,3	0,451	6,0	3450	6,9	0,47	6,50	3737,5
6,22	0,51	5,9	3322,5	7,05	0,54	6,50	3737,5
6,11	0,59	5,4	3105	7,18	0,61	6,48	3726
5,99	0,71	4,8	2760	7,4	0,72	6,45	3708,7
5,91	0,82	4,1	2357,5	7,5	0,88	6,3	3622,5
5,78	1,1	3,18	1828,5	7,5	1,2	6,1	3527,5

Constanta tahogeneratorului [575 V/rot.min]

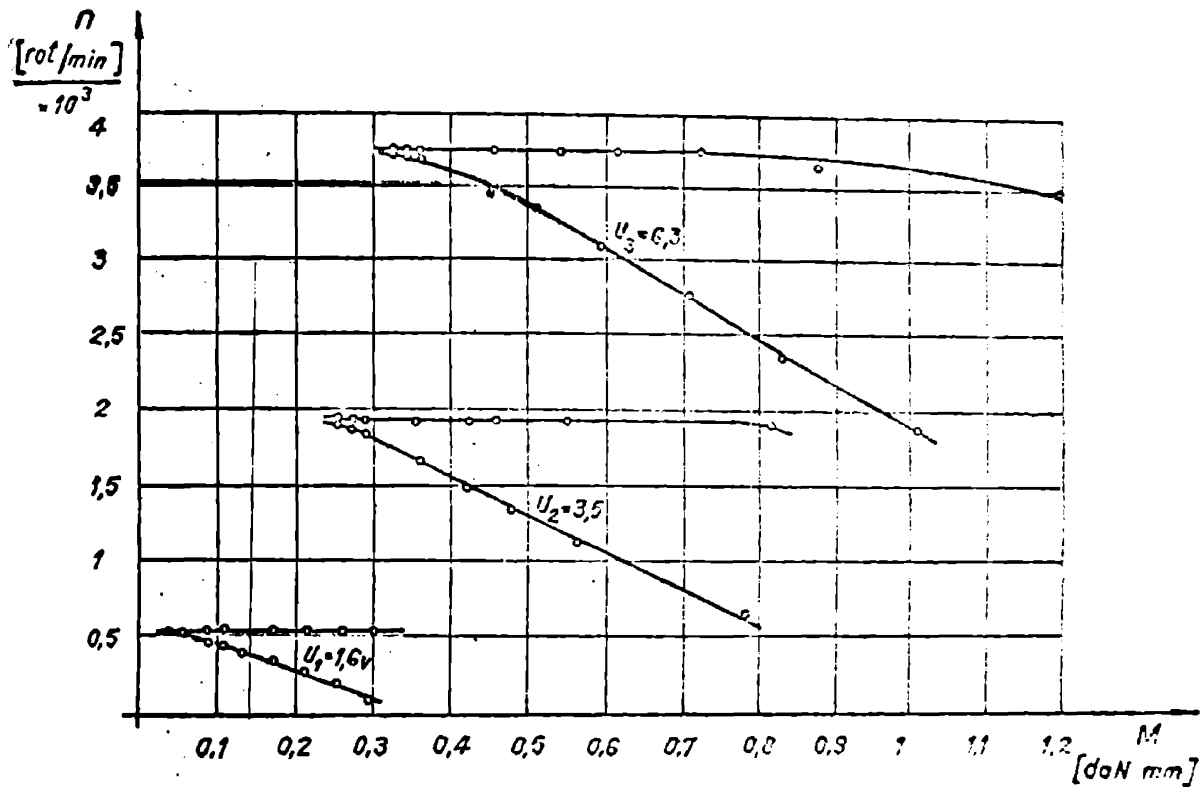


Fig.6.5. Caracteristicile mecanice artificiale $n=f(M)$.

6.1.2. Sistem de comandă adaptivă a avansului pentru prelucrarea găurilor mici.

Schema bloc a sistemului realizat este prezentată în în figura 6.6.

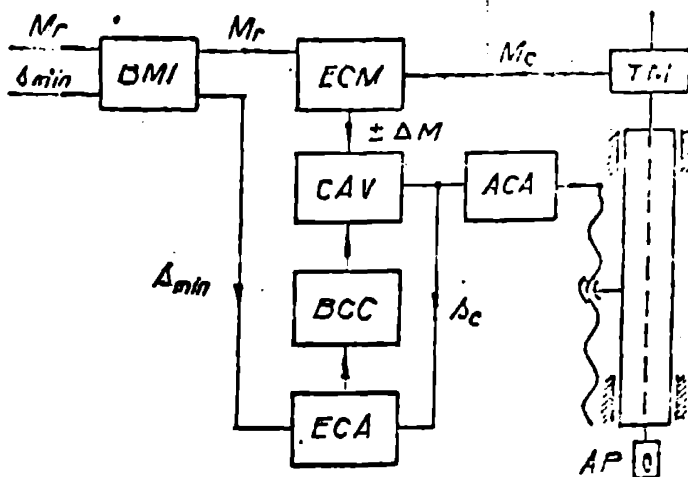


Fig.6.6. Schema bloc a CA pentru micromășină.

În blocul mărimilor inițiale PMI se introduce valoarea momentului de torsiune de referință M_r (funcție de diametrul burghiului) și valoarea avansului minim Δ_{min} la care să se realizeze retragerea sculei pentru curățire - răcire.

Momentul de torsiune din proces M_c măsurat de către traductorul de moment TM este

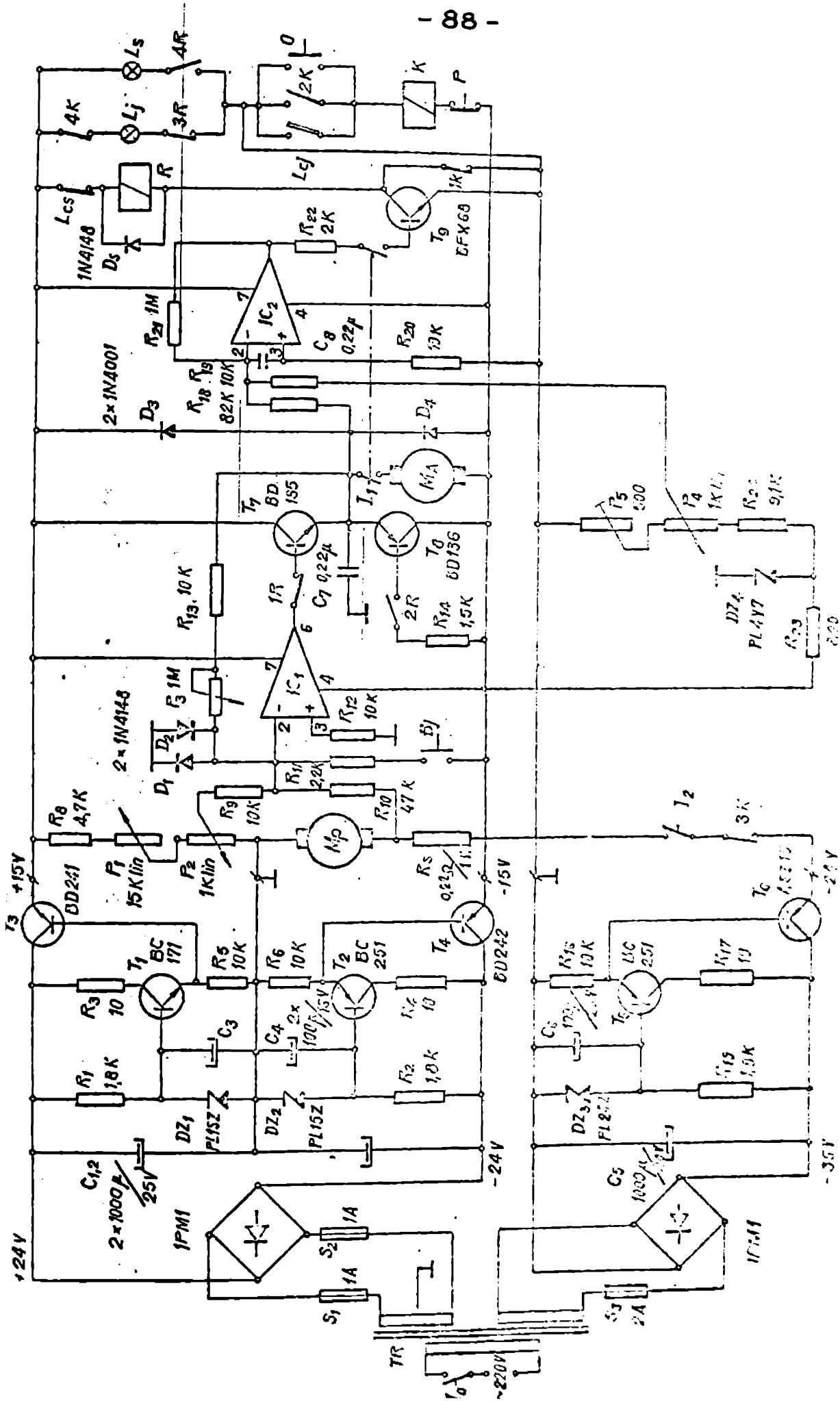


Fig. 6.7.

comparat în elementul de comparație pentru momentul de torsiune BCC. Semnalul rezultat din comparație $\pm \Delta M$ servește pentru comanda acționării de avans CAV și respectiv a acționării de avans ACA, modificându-se avansul în sensul păstrării relativ constante a M_c .

Valoarea avansului curent, din proces s_c , se compară în elementul de comparare al avansurilor ECA cu avansul minim s_{\min} . Astfel $s_c - s_{\min} \begin{cases} > 0 \text{ se continuă procesul prelucrării} \\ = 0 \text{ se comandă blocul de comandă al ciclului de prelucrare BCC care comandă acționarea de avans realizând retragerea periodică pînă la un limitator de cursă după care ciclul se reia pînă la terminarea prelucrării gîurii. Încheierea prelucrării este sesizată de un limitator de cursă inferior.} \end{cases}$

Schema electronică a sistemului de comandă adaptivă a avansului pentru micromașina de găurit este prezentată în figura 6.7.

Deoarece turația la arborele principal este constantă, măsurarea momentului de torsiune la arborele principal se poate face (cu unele aproximații) prin curentul absorbit de motorul electric principal M_p (curent dependent de momentul de torsiune rezistent - a se vedea cap.4.3.3) respectiv prin căderea de tensiune pe un rezistor serie R_s cu M_p . În acest fel elementul BCC constituit din amplificatorul operațional IC_1 compară M_r , introdus prin potențiometrele P_1 și P_2 (grosier și fin) sub forma unei tensiuni pozitive cu M_c introdus sub forma unei tensiuni negative. Amplificarea (sensibilitatea) elementului BCC este reglabilă prin P_3 .

Semnalul de la ieșirea din IC_1 comandă T_f (care constituie CAV conform fig.6.6) și respectiv M_A (care constituie ACA) realizându-se mișcarea de avans.

Avansul inițial (la pătrunderea burghiului în material) poate fi reglat prin modificarea factorului de amplificare al circuitului respectiv manevrîndu-se potențiometrului P_3 .

Semnalul despre avansul din proces s_c se preia sub forma tensiunii pozitive de alimentare a M_A . Cu anumită aproximație se poate admite că această tensiune este proporțională cu turația la M_A , deci cu avansul. Această tensiune se compară cu tensiunea negativă avînd valoarea stabilită prin poziția cursorului potențiometrului P_1 și care reprezintă mărimea avansului s_{\min} .

Compararea se face în comparatorul B0A (fig.0.6) constituit din amplificatorul operațional, respectiv circuitul integrat IC₂. În caz că $s_0 \leq s_{\min}$ la ieșirea din IC₂ se obține o tensiune pozitivă care comandă tranzistorul T₉ punând sub tensiune releul R (limitatorul de cursă "sus" L_{CS}, fiind normal închis). Releul R, care face parte din B0C (fig.0.6) întrerupe semnalul pentru avansul de prelucrare prin contactul normal închis 1R și comandă retragerea sculei prin schimbarea sensului de rotație la N₁ (prin polarizarea corespunzătoare a tranzistorului T₈ la închiderea contactului 2R). Retragera se produce pînă la comanda limitatorului L_{CS}, cînd ciclul de prelucrare se reia (R revine în poziția normală).

La atingerea adîncimii de prelucrare dorite limitatorul de cursă "jos" L_{CJ} pune sub tensiune releul K care se automenține (prin contactul 2K), întrerupe mișcarea la N₂ (prin 3K) și realizează retragerea rapidă pînă la L_{CS}.

Inițializarea unui nou ciclu de prelucrare se face prin comanda butonului P, iar oprirea procesului de prelucrare la dispoziția operatorului indiferent de faza existentă, prin comanda O.

Întreg sistemul este alimentat prin intermediul a trei surse stabilizate serie care asigură tensiunile +15; -15 și -24 V.

6.2. Sistem de comandă adaptivă a avansului pentru prelucrarea găurilor avînd diametre cuprinse între 3 ... 63 mm

Elaborarea sistemului de comandă adaptivă s-a făcut în concordanță cu algoritmul comenzii adaptive a avansului și cu cerințele unui astfel de sistem, prezentate anterior.

Deoarece una din cerințele mașinii-unelte pe care se implementează un astfel de sistem este de a dispune de avans reglabil continuu între anumite limite și la solicitarea I.IS. Înfrățirea Oradea, s-a ales ca mașină de găurit, mașina GP-45-NC.

6.2.1. Caracteristicile de bază ale mașinii de găurit GP-45-NC/AC

Mașina GP-45-NC face parte dintr-o familie modulară de mașini alături de mașinile GPR-45-NC.

Mașina dispune de masă deplasabilă în coordonate pe

direcțiile x, y și având un cap de găurire vertical cu deplasare în direcția w pe ghidajele verticale ale montentului. Pinola, împreună cu arborul principal, se deplasează pe direcția verticală z față de capul găuritor.

Mașina dispune de echipamentul de comandă numerică NUMERON 110-1 cu poziționare succesivă pentru axele x, y și cu introducerea manuală a datelor.

Schema cinematică a mașinii este redată în figura 6.8.

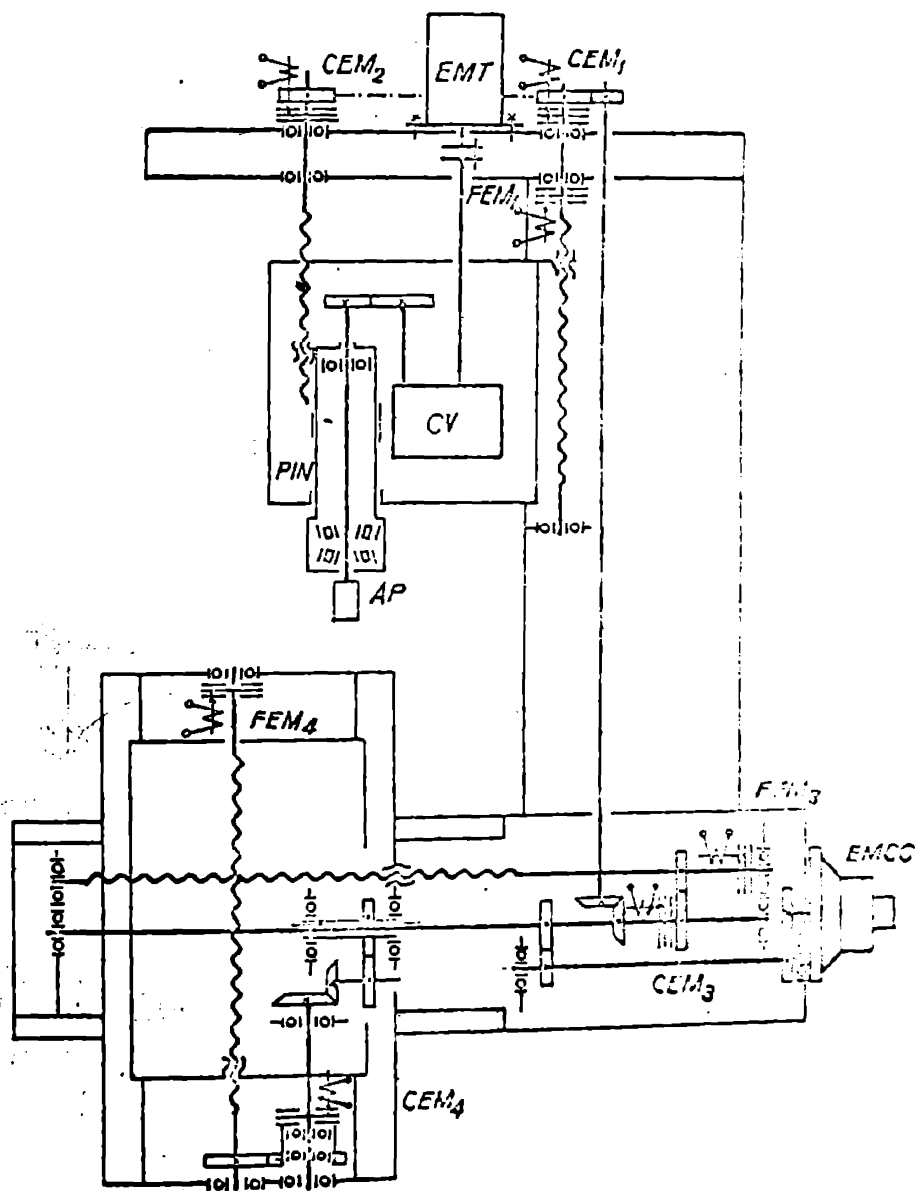


Fig.6.8. Schema cinematică a mașinii GP 45 NC

Mașina are avantajul unei construcții robuste pinola putând fi blocată pe perioada cît nu se utilizează mișcarea pe axa z . Avanzul mecanic se realizează de către capul găuritor (pe axa w). La această mașină au fost efectuate o serie de transformări

legate de schimbarea cutiei de viteză pentru a face posibilă schimbarea turațiilor la arborele principal, din mers și sub sarcină subiect ce constituie o parte din teza de doctorat a ing. Gheorghe Macedon /39/.

De asemenea a fost introdus sistemul de traductori pentru măsurarea forței axiale și a momentului de torziune, prezentată în cap.4.3 /44/.

Noua mașină, realizată pe bază de contract între IP"TR"FT Ștefănești T.C.M și I.I.S. Infrățirea Oradea a primit denumirea GP-5-NC/AC după introducerea sistemului de comandă adaptivă.

Caracteristicile tehnice mai importante ale mașinii sînt:

- cursa verticală a pîpușii 450 [mm]
- cursa longitudinală a mesei 420 [mm]
- cursa transversală a saniei 710 [mm]
- dimensiunile mesei. 500x500 [mm]
- intervalul turațiilor la arborele principal 28,4-2500 [rot/min]
- intervalul vitezelor de avans 4-4000 [mm/min]
(cu reglaj continuu)
- viteza de deplasare rapidă 4000 [mm/min]
- puterea electromotorului principal. 4 [kw]
- puterea electromotorului de avans 3 [kw]
- dimensiuni de gabarit 1990x2035x2770 [mm]
- greutate. 5000 [kg]

Sistemul de comandă adaptivă realizat a fost implementat pe această mașină.

6.2.2. Schema de principiu a comenzii adaptive a avansului

Schema de principiu a comenzii adaptive a avansului la găurire a fost elaborată pe baza analizei anterioare a procesului tehnologic de găurire și a funcțiilor auxiliare pe care acesta trebuie să le îndeplinească. S-a ținut cont de posibilitățile de realizare ale blocurilor de comandă electronică și de corința ca acestea să fie cît mai simple.

Schema de principiu concepută este prezentată în figura 6.9.

În blocul mărimilor inițiale MI se introduc : valoarea momentului de torziune de referință M_r prin care se ține cont de diametrul burghiului, materialul de prelucrat, condițiile de flambaj

etc. (aşa cum a fost prezentat în paragraful 5.2), forţa axială maximă admisă în procesul prelucrării F_{a1} , limitată de sculă sau de maşina unealtă, valoarea avansului minim la care să se producă retragerea pentru curăţirea şi răcirea sculei, respectiv raportul $\frac{M_0}{F_{a1}}$ conform celor prezentate în paragraful 5.2.4. şi valoarea avansului maxim admis (limitat) iniţial s_{vm} la pătrunderea burghiului.

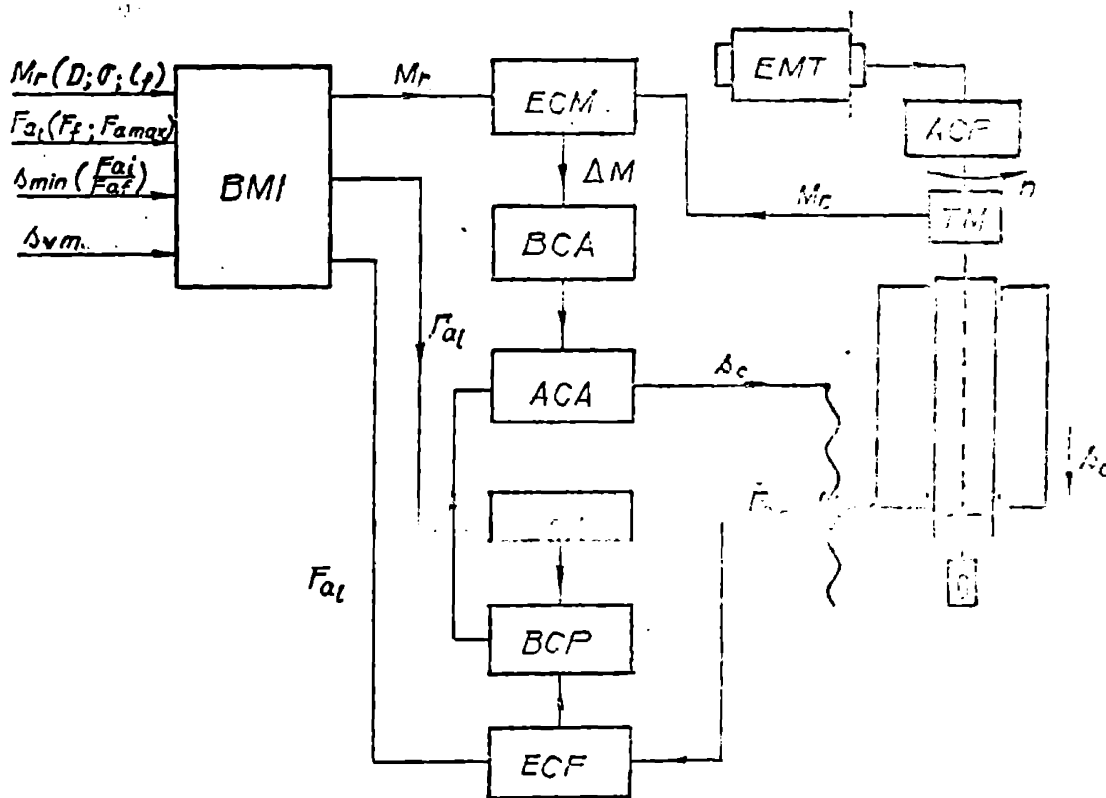


Fig. 6.9. Schema de principiu a CA pentru maşina GP 45 NC/AC.

Momentul de torsiune din proces de este măsurat de către traductorul de moment TM (prezentat în paragraful 4.3.3) şi semnalul prelucrat electronic este comparat cu valoarea M_r în elementul comparator ECM şi funcţie de rezultatul comparării este comandat blocul de comandă al avansului BCA şi respectiv acţionarea de avans ACA.

Deoarece în faza de apropiere valoarea momentului $M_c \approx 0$, avansul tinde să ia valoarea maximă posibilă, realizabilă de către maşina-unelte (în cazul GP-45 NC/AC aceasta este 4000 mm/min). Pentru a se evita acest lucru, se limitează avansul de pătrundere la valoarea vitezei avansului tehnologic maxim admis s_{vm} .

întru burghiul respectiv.

Prelucrarea decurge la moment de torziune relativ constant prin scăderea avansului odată cu creșterea adâncimii de prelucrare până la atingerea avansului minim admis. Odată cu scăderea avansului scade valoarea forței axiale curente F_{ac} , a cărei valoare se compară cu $M_c (F_{ai})$, în elementul de comparație ECA și funcționează în rezultatul comparării este comandat blocul de comandă al ciclului de prelucrare BCP care comandă ACA, determinând retragerea sculei până la un limitator de cursă, după care ciclul se reia.

În caz că forța din proces F_{ac} depășește forța axială limitată F_{al} (datorită uzurii sau ruperii accidentale a sculei) elementul comparator al forțelor ECF comandă BCP respectiv ACA, determinând retragerea sculei. În acest caz ciclul de prelucrare se reia decât după înlăturarea cauzei care a produs depășirea forței iar inițializarea unui nou ciclu de prelucrare se face prin comandă manuală.

6.2.3. Schema electronică bloc a comenzii adaptive a avansului

Pe baza schemei de principiu prezentată anterior a fost elaborată schema electronică bloc a cărei conexiune este redată în figura 6.10.

Generatorul de frecvență G alimentează punțile de traducători pentru măsurarea momentului de torziune TM și pentru forța axială TF cu o tensiune sinusoidală având frecvența de cca 5 KHz. Semnalele provenind din diagonala punților sunt introduse în blocurile de redresare, filtrare compensare și amplificare FA_M și FA_P . Compensările sînt necesare deoarece impedanțele rezultante ale acestora nu pot fi riguros egale pentru toți traductorii ce formează o punte datorită imposibilității precompensării perfecte uniforme la montajul acestora și datorită existenței unor armonici a tensiunii de alimentare a punții cu traductori. Compensarea se face prin introducerea unei tensiuni negative re-labile de la potențioetrele P_1 și respectiv P_2 . (a se vedea și paragraful 6.8.4.3).

La ieșirea din blocurile FA_M și FA_P se obține un semnal electric U_{Mc} și respectiv U_{Pa} cuprins între $0...+10$ V cc pentru domeniul de variație admis al parametrilor măsurați $0...M_c \max$ și respectiv $0...F_{acmax}$.

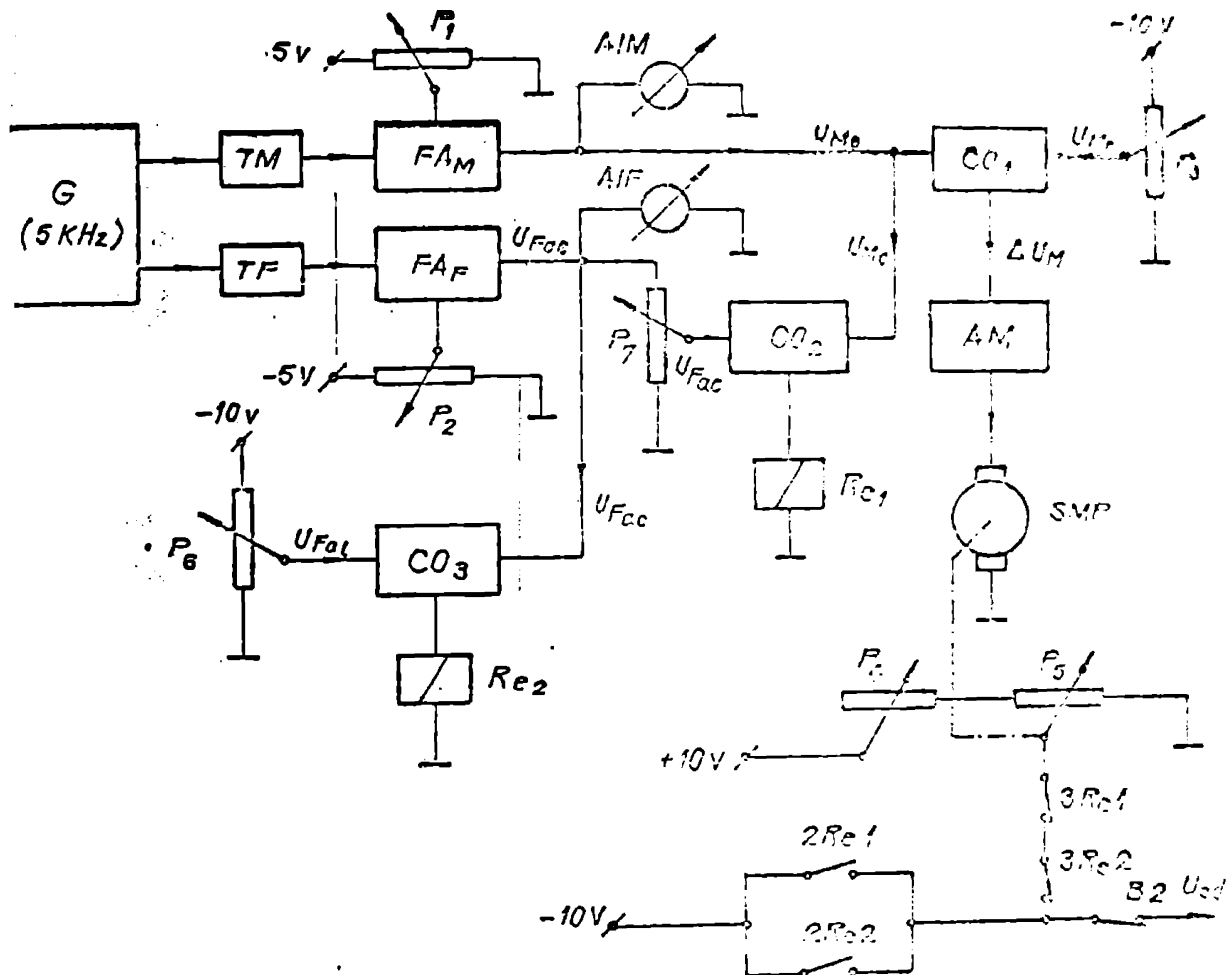


Fig.6.10. Schema electronică bloc a CA pentru mașina GP 45 NC/AC.

Schimbarea domeniului de măsură se face relativ ușor prin schimbarea factorului de amplificare al blocului (a se vedea și paragraful 6.8.4.3)

Valorile concrete ale parametrilor măsurăți sînt vizualizate la aparatele indicatoare A/M și A/F. (pentru momentul de torsiune și respectiv pentru forța axială). Aceste aparate servesc totodată și pentru vizualizarea compensării corecte a punților de tractoare la reglarea acestora.

Semnalul în tensiune continuă U_{Mc} este comparat cu semnalul U_{Mr} introdus prin potențiometrul P_3 sub formă unei tensiuni negative 0... -10 Vcc în elementul comparator CO_1 și funcție de rezultatul comparării:

$$\Delta U_M = |U_{Mr}| - |U_{Mc}| \geq 0$$

te comandat blocul amplificator AM care alimentează grupul servomotor-potențiomtru SMP care comandă tensiunea U_{cd} pentru variatorul cu tiristori al mașinii GP 45 NC/AC prin potențiomtrul P_5 . (Variatorul cu tiristori al mașinii GP 45 NC/AC se comandă în tensiune continuă $0...+10 V_{cc}$).

Avansul crește dacă $U_M > 0$, se menține constant dacă $U_M = 0$ și scade dacă $U_M < 0$.

Pentru ca la pătrunderea sculei în material avansul să nu fie cel maxim posibil realizabil de către mașina-unscă, (vezi paragraful 5.3.1) s-a introdus potențiomtrul P_4 care divizează semnalul de comandă al variatorului asigurând reglarea acestuia între $100\%...7,4\%$ ceea ce corespunde vitezei de avans de la $600...296$ mm/min (considerând impedanța de intrare a circuitului de comandă al variatorului cu tiristori de ordinul sutelor $K\Omega$).

Retragerile periodice se stabilesc prin compararea U_{Mc} și U_{Fac} (a se vedea și paragraful 5.2.4) în blocul comparator C_2 și funcție de rezultatul comparației este comandat releul R_1 a cărui contacte asigură comanda ciclului de retragere. Raportul între U_{Mc} și U_{Fac} , adică valoarea avansului minim, la care se producă retragerea se stabilește prin potențiomtrul P_7 .

Valoarea tensiunii corespunzătoare forței axiale curente maxime se introduce și în blocul de comparație C_3 , unde se compară valoarea tensiunii corespunzătoare forței axiale maxime adăugate cu valoarea U_{Fac} stabilită prin potențiomtrul P_7 .

Funcție de rezultatul comparației este comandat releul R_2 care anclusează dacă $U_{Fac} > U_{Fal}$ determinând prin starea contactelor sale retragerea sculei și așteptare pînă la confirmarea eliminării defectului care a produs depășirea.

6.2.4. Analiza blocurilor componente ale comenzii adaptive

În dorința de a realiza o schemă electronică cât mai simplă, cu respectarea funcțiilor prezentate, au fost concepute realizate și experimentate, un număr de blocuri electronice avînd funcțiile corespunzătoare schemei bloc (fig. 6.10).

Principalele blocuri sînt:

- Blocul de alimentare
- Blocul generator

- Blocul de redosare, filtrare, condensare și amplificarea semnalului de la traductori
- Blocul de comparare și amplificare pentru comanda avansului
- Blocul de comparare a forței axiale și pentru stabilirea tragerilor periodice.

Pentru a putea folosi blocurile și la alte tipuri de comenzi adaptive (pentru alte mașini unelte) s-a căutat realizarea pe plăci electronice separate interconectate.

6.2.4.1. Blocul de alimentare

Este organizat pe două plăci electronice. Placa SA-1 a cărei schemă este redată în figura 6.11 iar fotografia în figura 6.12 conține un redresor de tensiune cu filtraj adecvat care asigură la ieșire tensiunile de $\pm 22\text{ Vcc}$ și un redresor stabilizat pentru tensiune dublă de $\pm 15\text{ Vcc}$. Acest redresor servește la alimentarea restului blocurilor, cu excepția blocului generator.

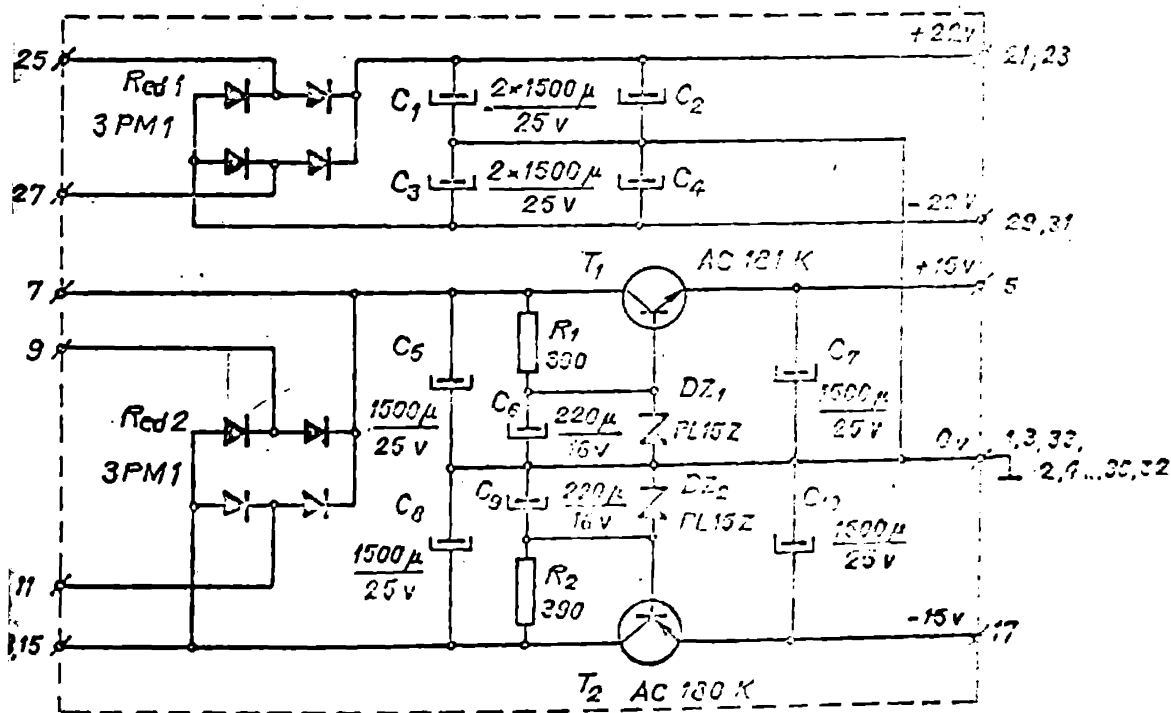


Fig. 5.11. Schema electronică a plăcii SA-1.

Dimensiunea stabilizatorului serie s-a făcut ținând cont că la ieșire valoarea curentului de sarcină este :

$$I_{\max} = I_1 \max + I_2 \max + I_3 \max \cong 0,25 \text{ [A]}$$

la care:

$I_1 \text{ max}$; $I_2 \text{ max}$ și $I_3 \text{ max}$ sînt curenții absorbiți de blocurile CAA-1 ; CAA-2 și respectiv CAA-3 (a se vedea și figura 6.12).

Puterea maximă disipată P_{dmax} pe tranzistorul serie va fi:

$$P_{dmax} = (E_{i \text{ max}} - U) I_{\text{max}}$$

în care:

$E_{i \text{ max}}$ este tensiunea maximă a sursei de alimentare a stabilizatorului (22 Vcc)

U - tensiunea de ieșire (15 Vcc)

$$P_{dmax} = (22 - 15) 0,25 = 1,75 \text{ [W]}$$

prin care se justifică alegerea tranzistorului regulator.

Placa SA-2 a cărei schemă este redată în figura 6.13 iar fotografia în figura 6.14, este

Fig.6.12. Placa SA-1

este stabilizator serie pentru alimentarea generatorului de frecvență.

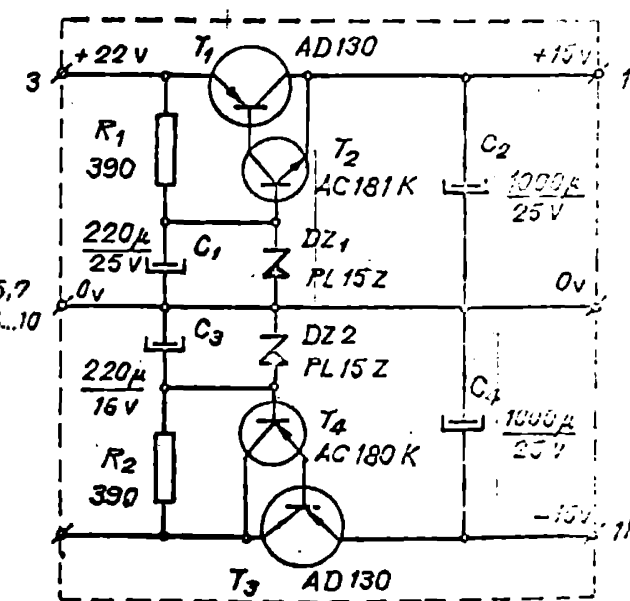


Fig.6.13. Schema electronică a plăcii SA-2

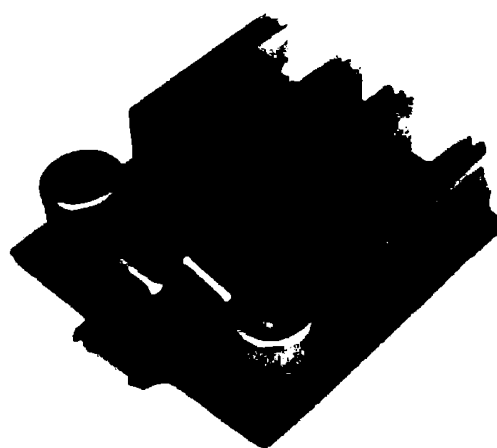


Fig.6.14 Placa SA-2

Pe și în cazul precedent a fost stabilit tipul tranzistorului regulator, funcție de puterea disipată, cunoscând curentul necesar alimentării generatorului (respectiv a punților cu traductoare)

6.2.4.2. Blocul generator (G)

Asigură alimentarea cu tensiune sinusoidală având frecvența de 5 kHz a punților cu traductoare pentru momentul de torsune și forță axială. Este constituit dintr-un oscilator cu punte Wien realizat cu circuitul integrat IC.1 ($\mu A 741$) și un amplificator tranzistorizat care să asigure puterea necesară semnalului P_s pentru punțile cu traductori, adică :

$$P_s = P_a + P_m$$

care: P_a , P_m reprezintă puterile semnalelor necesare pentru punțile de traductori pentru forța axială și respectiv pentru moment.

P_a și P_m depind de numărul traductorilor și respectiv tensiunea și curentul ce străbate un traductor (a se vedea p.4.3.1). În cazul de față $P_s \cong 6$ [W].

Schema electrică a generatorului este prezentată în figura 6.15 iar fotografia acestuia în 6.16.

Pentru a alimenta ambele punți concomitent și cu tensiuni diferite s-a recurs la utilizarea transformatorului de ieșire (de adaptare) realizat pe miez de ferită.

6.2.4.3. Blocurile de redresare, filtrare, compunere și amplificare. (CAA-1).

Blocurile FA_M și FA_F care au compunere identică sînt plasate pe aceeași placă CAA-1 (a se vedea și fig.6.23).

Schema plăcii este prezentată în figura 6.17 iar fotografia în figura 6.18.

Semnalul provenind din diagonala fiecărei punți cu traductori este redresat prin intermediul unei punți redresare și este filtrat, rezultînd la ieșirea din circuitul integral operațional IC₁ ($\mu A 741$) și respectiv IC₃ o tensiune continuă, proporțională cu efortul din traductori.

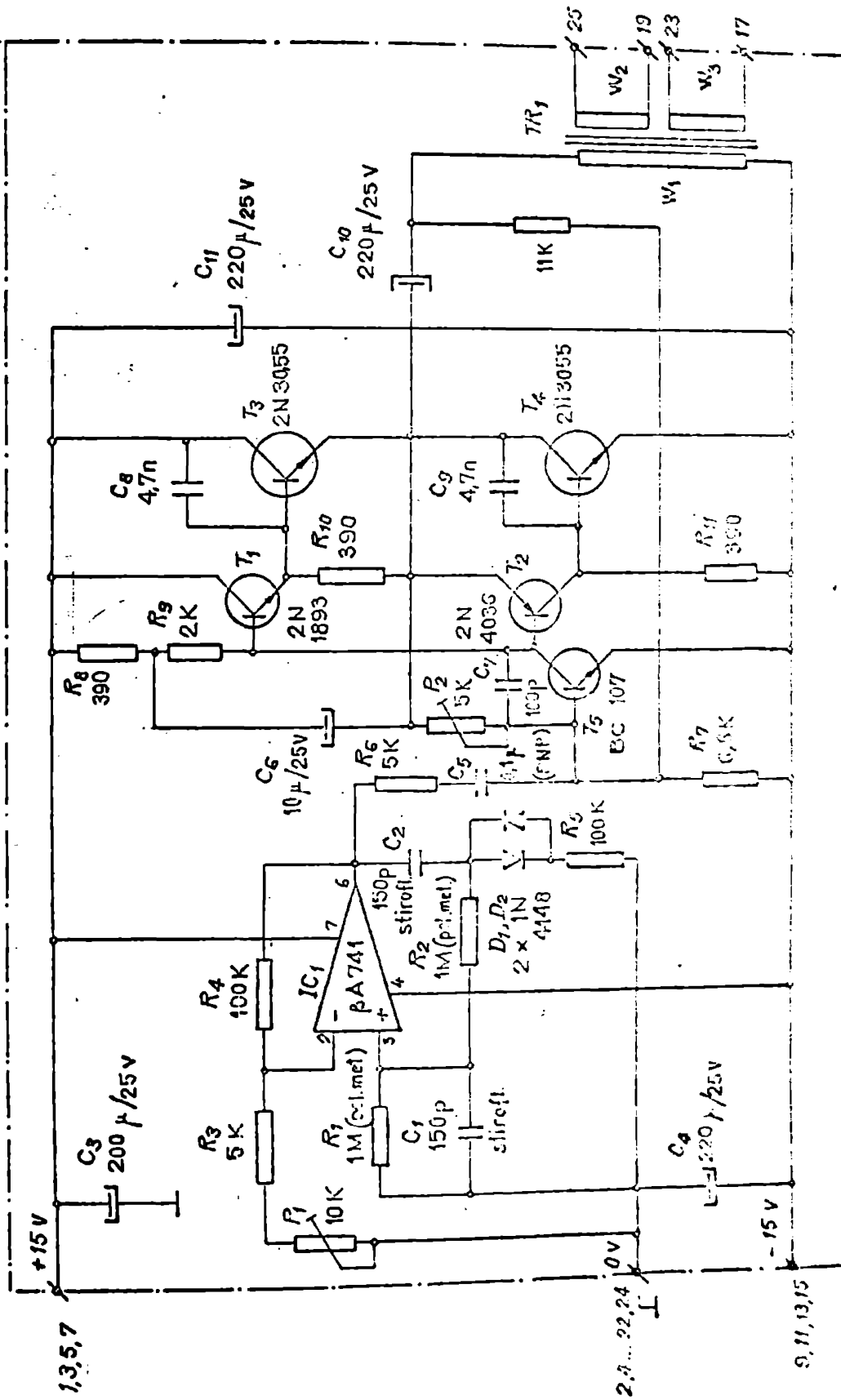
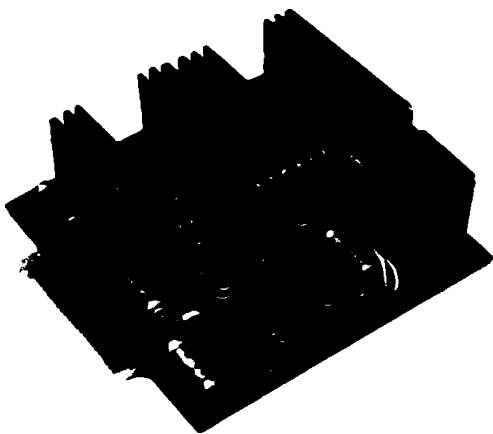


Fig.6.15. Schema electronică a plăcii G.



Deoarece, în mod inevitabil, impedanțele traductorilor ce formează o punte nu sînt perfect identice, iar forța de precomprimare nu poate fi redusă de aceeași valoare pentru toți traductorii, precum și datorită armonicilor frecvenței de alimentare rezultă că și pentru un moment sau o forță de măsură nulă, se obține o tensiune pozitivă la ieșirea din IC_1 și respectiv IC_3 .

Fig.6.16. Placa G.

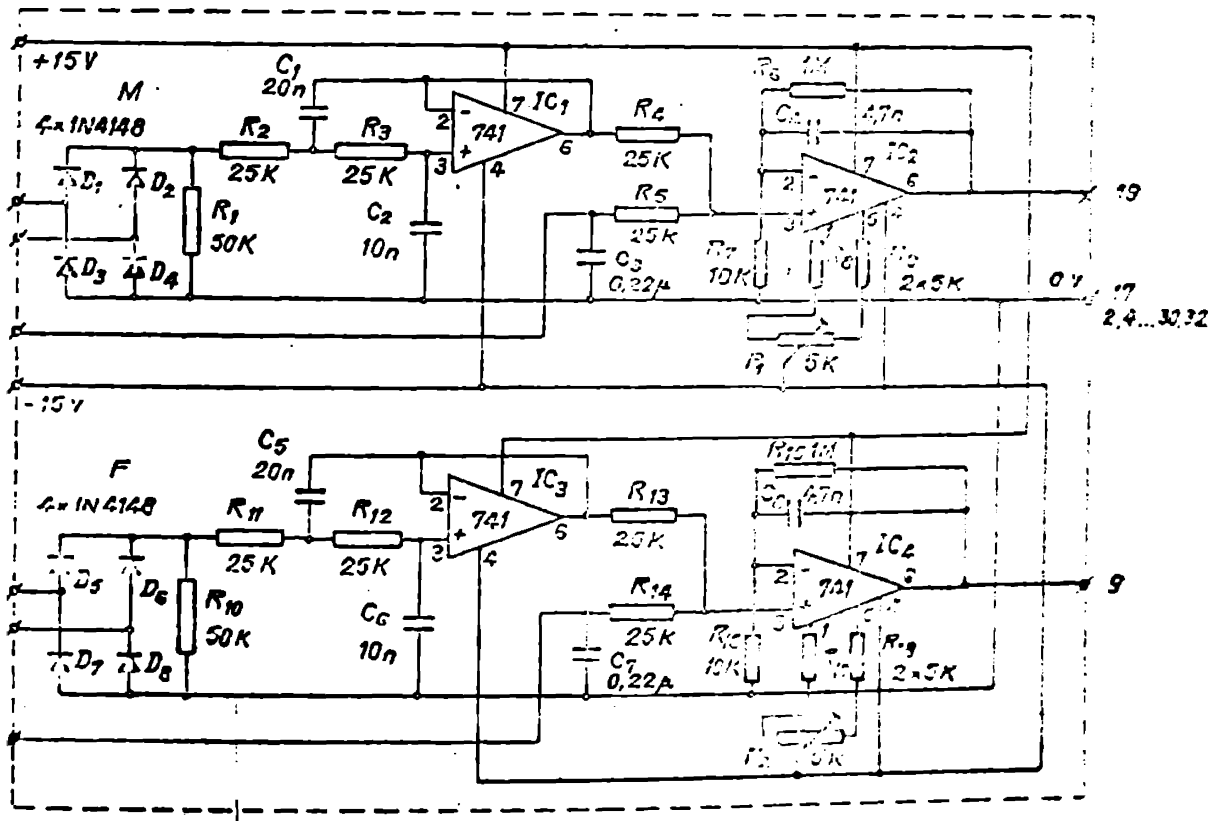


Fig.6.17. Schema electronică a plăcii CAA-1.

Pentru a putea compensa această tensiune, se introduce o tensiune egală și de semn contrar la intrarea neinvertoare a circuitului integrat operațional IC_2 respectiv IC_4 . Introducerea acestei tensiuni se face printr-un potențiomtru P_1 și respectiv P_2

se vede și figurile 6.10 și 6.23).

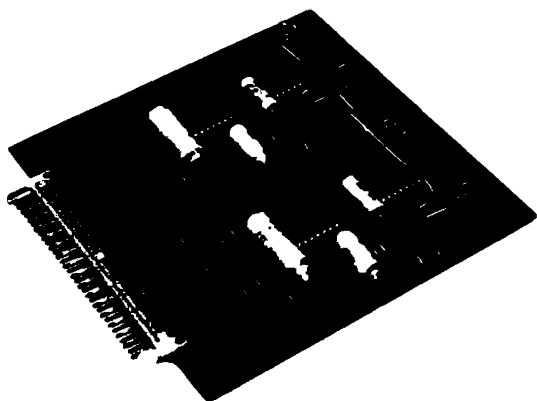


Fig. 6.18. Placa CAA-1

poate realiza cu ușurință corespondența dintre $M_{t,max}$ și $U_{e,max}$ respectiv $F_{a,max}$ și $U_{e,max}$. Pentru mașina GP 45 NC/AC aceasta înseamnă că la momentul de torsiune maxim de 25.000 daNm va corespunde + 10 Vcc și respectiv la forța axială de 2000 daN va corespunde + 10 Vcc.

La ieșirea din IC_2 și respectiv IC_4 se obține un semnal în tensiune continuă, proporțional cu momentul de torsiune sau forța axială măsurate. Amplificarea semnalului la amplificarea cu reacție negativă este:

$$A_M \frac{U_e}{U_i} = \frac{R_6}{R_7} + 1 \text{ și respectiv}$$

$$A_P = \frac{R_{15}}{R_{16}} + 1.$$

Se observă că prin ajustarea valorii R_6 și respectiv R_{15}

6.2.4.4. Blocul de comparare și amplificare pentru comanda avansului (CAA-3)

Se compune (fig. 6.19) din elementul comparator realizat cu circuitul integrat operațional IC_1 ($\beta A 741$) care la intrarea învertătoare primește semnal de la blocul FA_m (a se vedea și figura 6.23) sub forma unei tensiuni pozitive 0...+10 Vcc corespunzător valorii momentului de torsiune din proces, precum și semnal sub forma unei tensiuni negative 0... -10 Vcc de la potențiometrul P_3 prin care se introduce valoarea momentului de torsiune de referință.

Funcție de rezultatul comparării acestor semnale este comandat preamplificatorul realizat cu circuitul integrat IC_2 ($\beta A 741$).

Amplificatorul final realizat cu tranzistoarele T_1, T_2, T_3, T_4 (în montaj Darlington) alimentează motorul servomecanismului potențiometrului SMP pentru instalarea valorii curente a avansului.

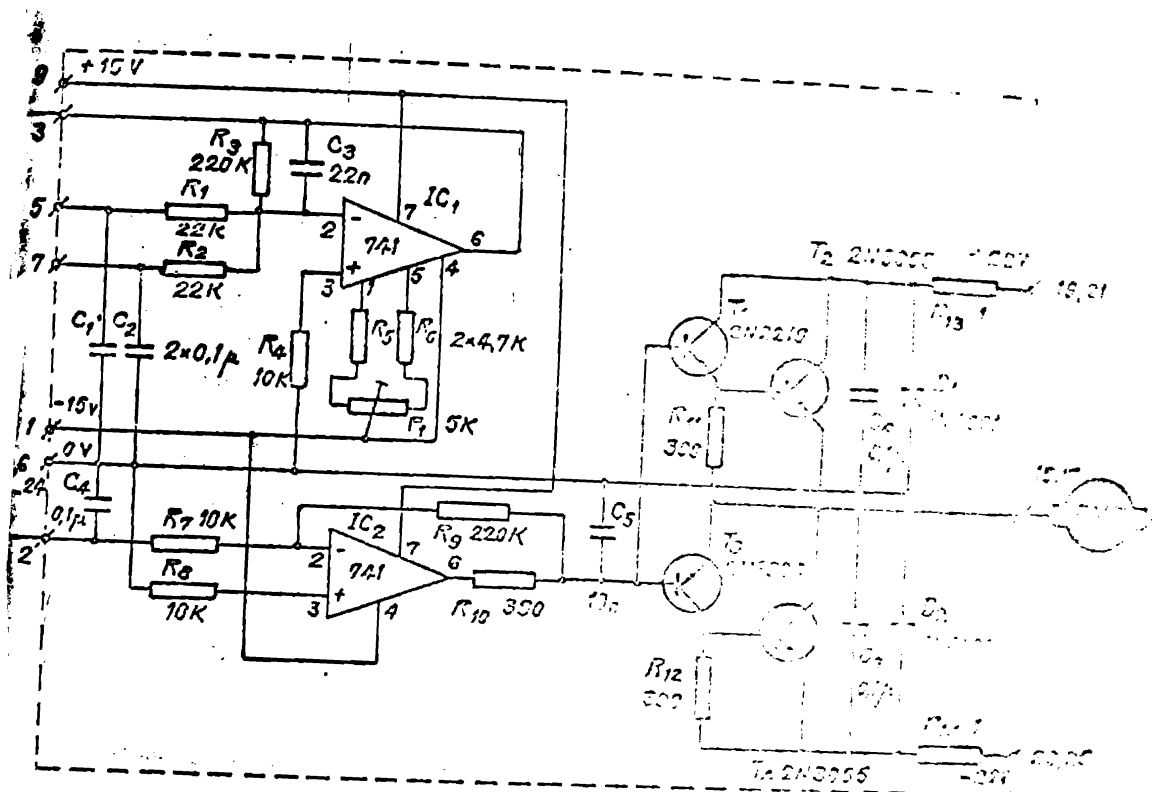


Fig. 6.19. Schema electronică a plăcii CAA-3

Fotografia plăcii este prezentată în figura 6.20.

6.2.4.5. Blocurile pentru comanda retragerilor periodice și pentru limitarea forței axiale maxime.

Ambele blocuri sînt amplasate pe o singură placă (CAA-3) conform figurii 6.21.

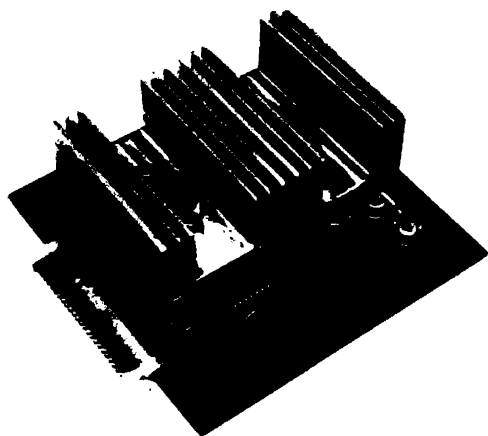


Fig.6.20: Placa CAA-3

Placa conține două comparatoare realizate cu circuitele integrate operaționale CI_1 ($\beta A 741$) și respectiv CI_2 ($\beta A 741$).

Prințul comparator serveste la comanda retragerilor periodice pe baza comparării valorii momentului de torsiune din proces Mc care în regim stabilizat este egal cu momentul de torsiune de referință M_r și care constituie un indice asupra valorii inițiale a forței

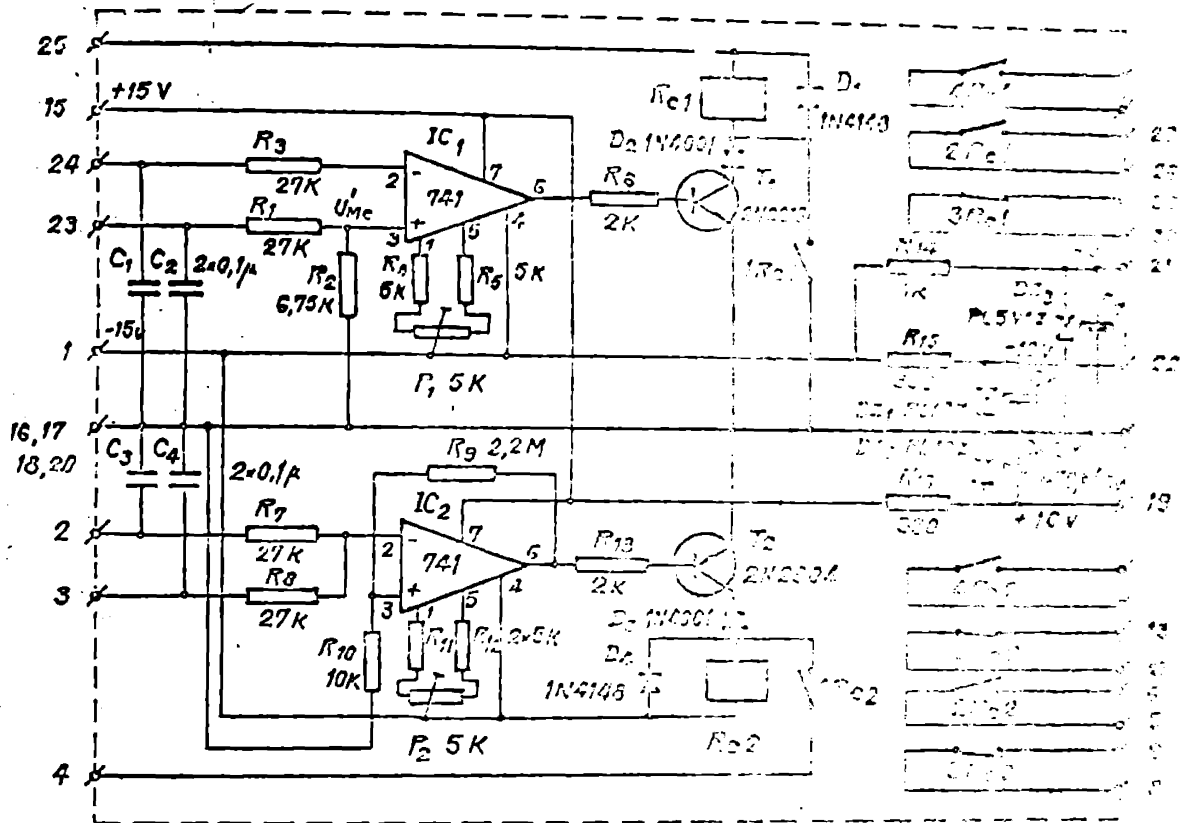


Fig.6.21. Schema electronică a plăcii CAI-6

xiale (a se vedea și paragraful 5.2.4.). Semnalul electric corespunzător momentului de torsiune din proces este o tensiune pozitivă $U_{Mc} = 0...+ 10 V_{cc}$ pentru domeniul $0... M_{cmax}$ și este introdus la intrarea neinvertoare a IC_1 , printr-un divizor de tensiune constituit din rezistoarele R_1 și R_2 .

Semnalul corespunzător forței axiale din proces (forța curentă) U_{Fa} este divizat de către potenționstrul P_7 (a se vedea fig.6.10 și 6.23) prin care se stabilește valoarea raportului la care să se producă retragerea bușinului pentru curățirea.

Pentru a stabili valorile rezistoarelor divizorului pentru semnalul U_{Mc} și a celui pentru U_{Fa} se determină valorile tensiunilor de intrare funcție de M_c și respectiv a tensiunilor corespunzătoare lui F_{ax} (a se vedea paragraful 5.2.4). Aceste valori sînt prezentate în tabelul 6.2.

Deoarece impedanța de intrare a amplificatorului operațional la intrarea neinvertoare este suficient de mare ($\geq 1M\Omega$) se poate neglija curentul de intrare în IC_1 în comparație cu curentul i ce trece prin divizorul R_1, R_2 .

D	Tensiunea U _{Mc} [V]		Tensiunea U _{Mc} [V]		Tensiunea U _{Faf} [V]				Tensiunea U _{Faf} [V]			
	OL, Bz, Al	Fc	OL, Bz, Al	Fc	OL	Fc	Bz	Al	OL	Fc	Bz	Al
7	0,03	0,03	0,006	0,006	0,43	0,46	0,32	0,18	0,12	0,10	0,12	0,12
9	0,32	0,24	0,064	0,048	1,35	1,64	1,11	1,22	0,31	0,40	0,42	0,42
11	1,24	1,24	0,248	0,248	2,6	3,41	2,4	2,2	0,68	1,22	0,91	0,82
13	2,62	2,62	0,524	0,524	4,12	5,7	4,62	3,4	1,02	2,17	1,53	1,52
15	4,8	4,8	0,96	0,96	6,0	8,6	6,95	5,0	1,25	2,82	2,07	2,02
17	7,8	6,54	1,56	1,308	7,96	10	8,4	6,8	1,72	3,68	2,62	2,52
19	10	7,5	2,0	1,5	8,61	10	8,3	7,9	2,57	3,82	2,87	2,72
21	10	8,5	2,0	1,7	9,02	10	8,0	7,7	2,62	3,82	2,82	2,62
23	10	9,4	2,0	1,88	7,35	10	7,0	6,4	2,72	3,82	2,82	2,62
25	10	10	2,0	2,0	6,71	6,67	6,5	6,1	2,82	3,82	2,82	2,62
27	10	10	2,0	2,0	6,35	6,9	6,2	6,9	2,82	3,82	2,82	2,62
29	10	10	2,0	2,0	5,93	6,1	6,0	6,0	2,82	3,82	2,82	2,62

Rezultă că .

$$U_{Mc} = (R_1 + R_2)i = U'_{Mc} + R_2 \cdot i$$

Pentru funcționalitatea sistemului este necesar ca U_{Faf} să fie mai mare decât U_{Mc} (adică pentru Mc max) să îndeplinească condiția:

$$U_{Faf_{min}} \geq U_{Mc_{max}}$$

Din tabelul 6.1 se observă că U_{Faf} (cu condițiile specificate) are valoarea 2,12[V] și pentru R₁ = 27 kΩ și U'_{Mc} = 2 rezultă:

$$i = \frac{U_{Mc} - U'_{Mc}}{R_1} = \frac{10 - 2}{27.000} = 0,2963 \cdot 10^{-3} [A] = 0,2963 [mA]$$

iar:

$$R_2 = \frac{2}{0,2963} = 6,75 \text{ k}\Omega$$

Pentru stabilirea avansului minim la care se realizează retragerile periodice, se marchează la tubului potențiometrului valorile corespunzătoare diametrului pentru fiecare material prelucrat în parte pentru care se realizează U'_{Faf} < U'_{Mc} în care U'_{Faf} este tensiunea la intrarea învertoare IC₁.

Când $U_{Faf}^* < U_{Mc}^*$ se polarizează transistorul T_2 în sensul
ductiei acestuia, releul Re_1 anclanșează și se autoține
terminând retragerea sculei până la limitatorul de cursă su-
rior LC după care ciclul de prelucrare se reia (a se vedea și
pura 6.23).

Blocul pentru limitarea forței axiale este constituit din
aparatorului cu CI_2 care compară tensiunea corespunzătoare for-
axiale din proces $U_{Fa} = 0...+10 V_{cc}$ cu tensiunea corespunzătoare
forței maxime admise ($0...-10 V_{cc}$) introdusă prin inter-
fiul potențiometrului P_6 (conf. fig. 6.10 și 6.23).

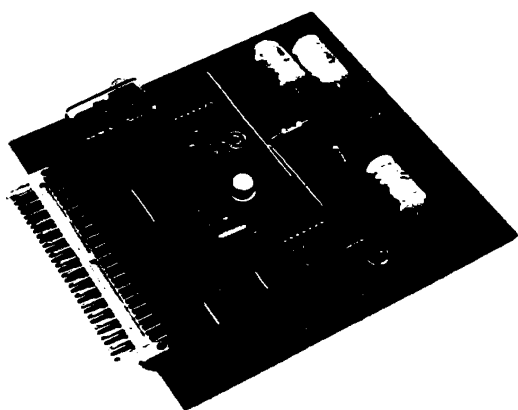


Fig. 6.22. Placa CAA-2.

izute cursive pentru tensiunile de referință $-5 V_{cc}$, $-10 V_{cc}$, și
 $10 V_{cc}$, realizate cu diode zener.

La devierea în proces a for-
ței admise transistorul T_2 este
polarizat în sensul conductiei,
releul Re_2 anclanșează și se
autoține determinând retraga-
gerea sculei până la limitato-
rului de cursă superior al regi-
nii (reîntrirea în această
schemă). Ciclul de prelucrare
nu poate fi reluat, decât după
apăsarea pe butonul B_1 , după
după confirmarea eliminării
cauzei care a produs depășirea
forței axiale prevăzute.

Tot pe această placă sunt re-

6.2.5. Grupul servomotor - potențiometrul.

Comanda variatorului cu tiristori se face în tensiune
continuu $0...+10 V_{cc}$ pentru sensul direct al avansului și res-
pectiv $0...-10 V_{cc}$ pentru retragere. Introducerea comenzii
variabil în tensiune la variator se face printr-un potențio-
metru liniar bobinat având rezistența de $2 K\Omega$.

În cazul comenzii adaptive s-a recurs la folosirea ace-
luiași tip de potențiometrul (care prin construcție are o rezis-
tență considerabilă la uzură) și s-a conceput un grup servomo-
tor - reductor care să antreneze acest potențiometrul.

oarece viteza de variație a factorilor perturbatori la pârâire nu este deosebit de rapidă (cu excepția perioadei de pătrundere a burghiului) s-a admis ca durata schimbării avansului de $s_{\min} = 4 [\text{mm/min}]$ la $s_{\max} = 4000 [\text{mm/min}]$ să fie de 2,5 [s].

Motorul electric de curent continuu pentru acționare are caracteristicile :

- tensiunea de alimentare 24[Vcc];
- turația $n_m = 4500 [\text{rot/min}]$;
- puterea cca 4[W].

Cunoscând că unghiul de rotație al potențiometrului este de $300^\circ \cong 0,83 \text{ rot}$, prin scrierea condiției cinematice:

$$n_1 \cdot j = n_e$$

- în care: n_1 este turația de intrare;
 n_e - turația de ieșire;
 j - produsul rapoartelor intermediare.

Se determină raportul total $j = \frac{0,83 \cdot 60}{1} = 7,407 \cdot 10^{-3}$

în care s-au stabilit rapoartele intermediare în treptelor de înmulțire.

Grupul este dotat cu limit toare de cursă pentru limitarea unghiului de rotație al cursorului potențiometrului.

6.2.6. Schema de interconectare a plăcilor și a legăturilor cu mașina GP-45 NC/AC

În schemele prezentate pentru fiecare placă în parte sînt indicate numerele pișilor conectorilor pentru fiecare legătură a plăcii cu exteriorul. Conform acestor notații și respectiv a schemei bloc (fig.6.10) a fost elaborată schema de interconectare a plăcilor și aparatelor prezentată în figura 6.23.

Conform acestei scheme a fost realizat cablajul între plăci și cu restul aparatelor și respectiv s-au realizat legăturile cu mașina GP 45 NC/AC.

Dulapul de comandă al CA a avansului avînd carcacele demontate este prezentat în vederea din față și cap dinspre cablajul dintre plăci în fotografiile din figura 6.24 a și b.

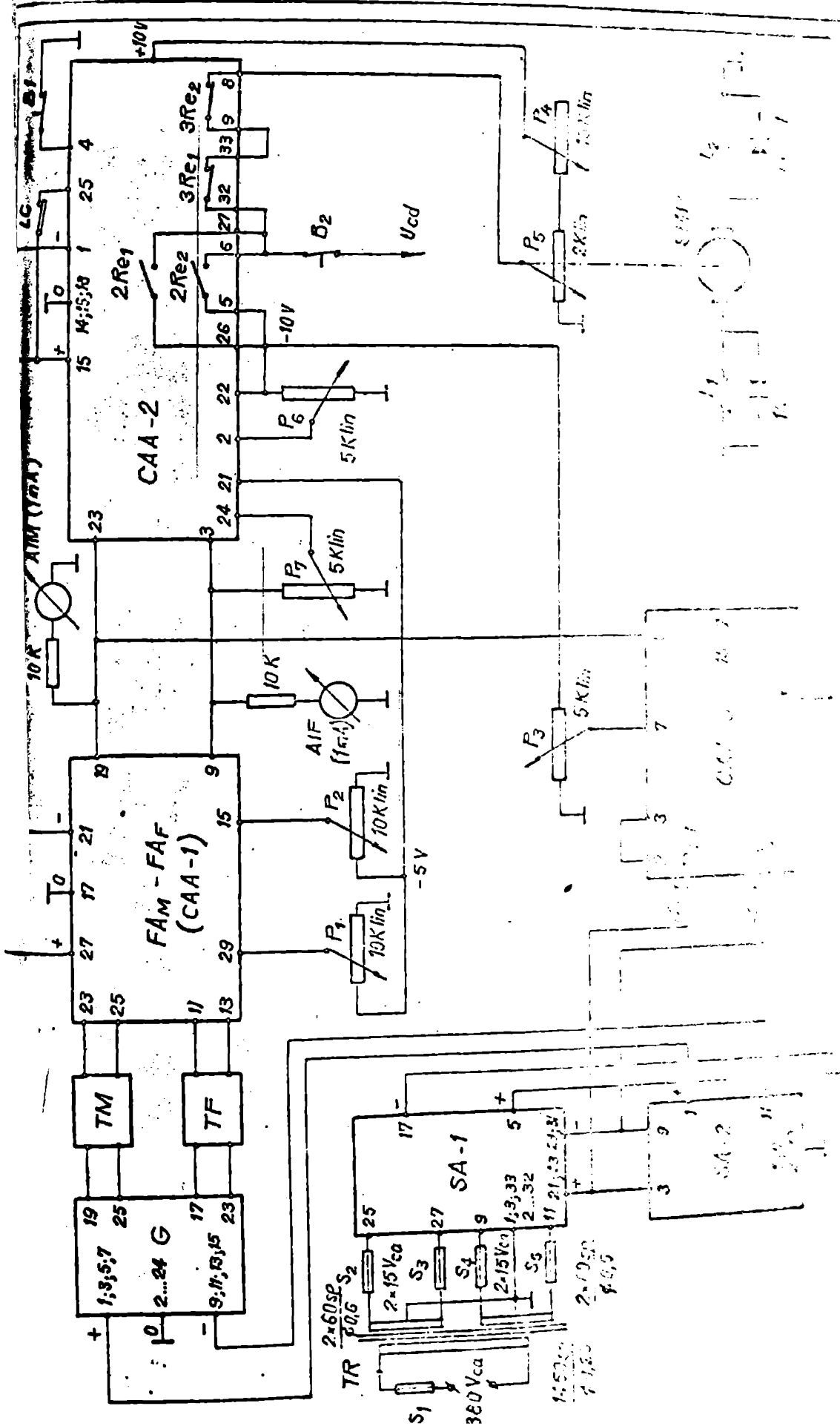


Fig. 6 23.



Fig.6.24. Dulapul de comandă.

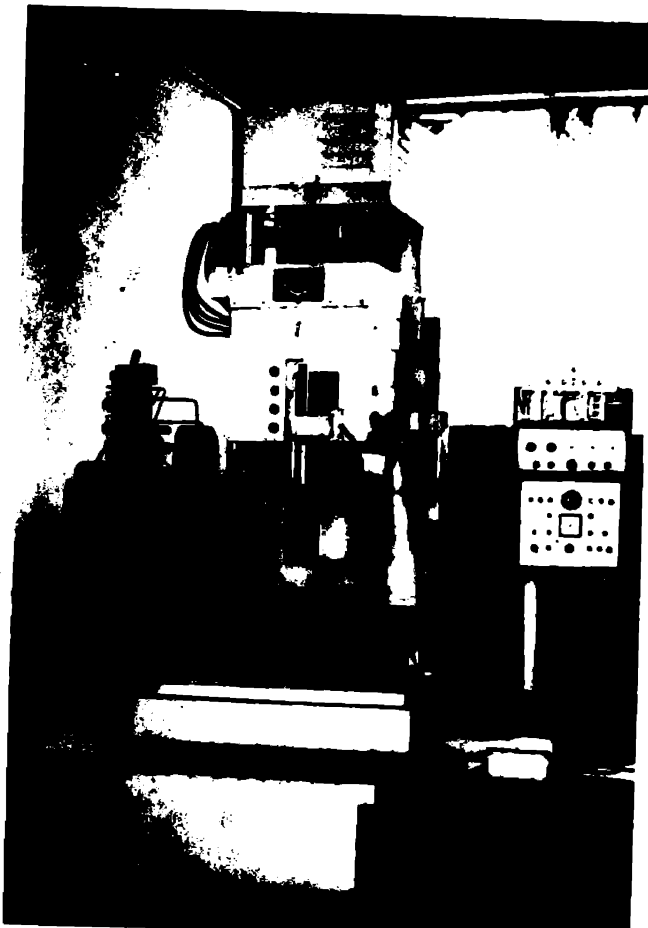


Fig.6.25. Mașina GP 45 NC/AC cu sistem de comandă adaptivă.

Legăturile cu rețeaua GP-45 NC/AC sînt de număr redus, ceea ce constituie un avantaj major al sistemului, deoarece nu impune schimbări importante în schema de comandă electrică a mașinii, și construiește în alimentarea dulapului (transformatorului) cu tensiune de 200 V c.a., legăturile (realizate cu cabluri corespunzătoare) spre grupurile de traductori, legătura la limitatorul de cursă LC (instalat suplimentar pentru comanda retragerilor periodice) și legătura pentru comanda variatorului cu tiristori ai mașinii prin tensiunea Ucd.

Pentru o cât mai ușoară manevrabilitate s-a realizat panoul de comandă astfel realizat, deasupra panoului de comandă al mașinii propriutise, realizându-se un dulap cu dimensiuni adecvate care să se adapteze corectunător și să nu afecteze negativ designul general al mașinii.

Mașina de găurit GP 45 NC/AC cu dulapul de comandă adaptivă a avansului amplasat deasupra panoului de comandă al mașinii este prezentată în figura 6.25.

6.5. Concluzii

Au fost concepute și realizate două sisteme de comandă adaptivă. Un sistem este destinat prelucrării găurilor mici (până la cca 1 mm) având o structură mai simplă. Pentru utilizarea acestui sistem a fost proiectată și construită o mașină de găurit care poate executa prelucrări atât cu comandă clasică (fără comandă adaptivă) cât și cu comandă adaptivă. Pentru realizarea unui avans continuu reglabil la nivelul de până la 0,001 mm a fost proiectată, realizată și experimentată o acționare care funcționează cu micromotor de curent continuu având o caracteristică mecanică $n = f(N)$.

Comanda adaptivă pentru prelucrarea găurilor mici se remarcă prin simplitate și prin folosirea în exclusivitate a componentelor electronice de fabricație serie.

Sistemul de comandă adaptivă, proiectat, realizat și instalat pe mașina GP 45 NC/AC este de complexitate medie asigurând o serie de funcții de reglare și protecție a sculei și mașinii unelte. Sistemul se bazează pe structura prezentată în cap.5 și este realizat în construcție modulară (pe plăci funcționale) ceea ce îi asigură o bună întreținere și posibilitatea utilizării modulelor respective și la alte mașini de comenzi adaptive.

În principiu sistemul reglează avansul funcție de un moment de torsiune de referință (care poate fi stabilit și pe baza altor algoritmi) asigurând protecție la forțe axiale și posibilitatea retragerilor periodice pentru curățire și răcire a sculei la atingerea unui avans minim stabilit.

Retragerile periodice se comandă printr-un sistem original al autorului.

Sistemul de comandă adaptivă a avansului la găurire este realizat cu componente electronice de fabricație românească și poate fi instalat cu ușurință, pe orice mașină sau unitate de găurire, dacă aceasta dispune de reglare continuă a avansului și de un sistem adecvat de traductoare, pentru momentul de torsiune și forța axială.

Ambele sisteme sînt originale ca și compunere fiind printre primele încercări de acest gen la noi în țară și avînd mari perspective de aplicare, atît pentru mașini de găurit cît și pentru centre de prelucrare și linii tehnologice flexibile.

7. INCERCARI EXPERIMENTALE ALE COMENZII ADAPTIVE A AVANSULUI

Prin încercările experimentale s-au urmărit o serie de aspecte legate atât de concordanța determinării teoretice cu cea experimentală a mărimilor de referință cât și de creșterea capacității de producție a mașinii dotate cu CA și în general a funcționalității sistemului.

Având în vedere realizările prezentate în cap.6. au fost făcute o serie de experimentări atât pentru micromașina de găurit cât și pentru mașina GP-45 NC/AC.

7.1. Incercări experimentale ale comenzii adaptive a avansului la prelucrarea găurilor până la 1 mm.

Pentru realizarea acestor experimentări s-a folosit micromașina de găurit prezentată în cap.6. Montajul de laborator realizat, este redat în fotografia din figura 7.1.



Fig.7.1. Montajul de laborator pentru încercarea micromașinii.

Se observă că sînt folosite mijloace de măsură (ca aparate indicatoare) precum și un oscilograf înregistrator al variației parametrilor în timpul procesului de prelucrare.

7.1.1. Obiectivele urmărite și metoda încercărilor

Așa cum s-a prezentat, scopurile principale ale unui sistem de CA a avansului este să asigure o eficiență maximă a procesului de prelucrare prin încălcarea maximă admisă de burghiu sau mașină, concomitent cu protejarea burghiului împotriva rupturilor accidentale. Prin funcționarea sa, sistemul trebuie să asigure retragerile sculei pentru curățire de așchii și reluarea procesului așchierii.

Principalul obiectiv urmărit de prelucrarea găurilor mici prin sistemul CA a fost creșterea capacității de producție.

Pentru a putea face compararea capacității de producție între condițiile clasice și condițiile sistemului de CA s-a recurs la prelucrarea cu burghie de diferite diametre determinându-se valoarea capacității de producție exprimată în unitate de lungime de gaură prelucrată pe unitate de timp c.p._l [mm/min] și în volum de material așchiat în unitate de timp c.p._v [mm³/min]. (Exprimarea se referă evident la un anumit diametru de burghiu).

7.1.1.1. Determinarea capacității de producție în cazul prelucrării fără CA.

În condiții de prelucrare clasice, folosind burghie elicoidale normale (conform STAS 573-73), ciclul de prelucrare trebuie să decurgă conform recomandării /70/ ca în figura 7.2.

Dacă se notează cu :

L - lungimea (adîncimea) găurii prelucrate ;

l_1 - lungimile curselor intermediare;

l_a - distanța dintre burghiu și piesă la începutul prelucrării (poziția inițială)

n - numărul de retrageri,

se poate determina pe cale analitică timpul necesar prelucrării unei găuri t_m ca fiind :

$$t_m = t_b + t_a \text{ [min]} \quad (7.1)$$

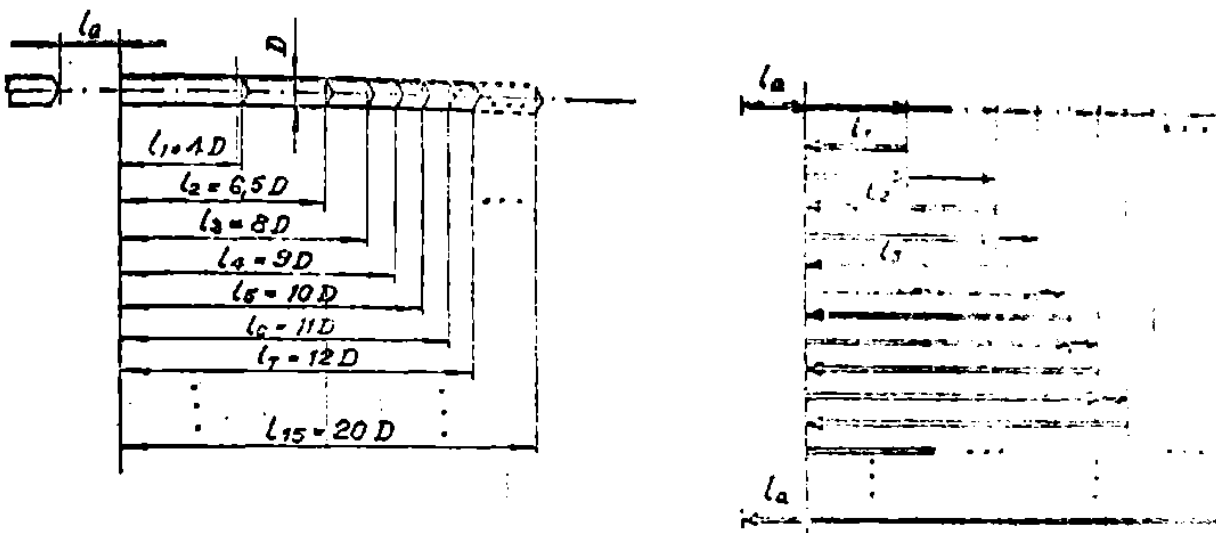


Fig.7.2. Ciclul de prelucrare la găurire.

în care:

t_b este timpul de bază;

t_a - timpul auxiliar.

Timpul de bază se poate calcula suficient de precis cu relația:

$$t_b = \frac{L}{n \cdot s} = \frac{L}{s_v} \quad [\text{min}] \quad (7.2)$$

în care:

n este turația burghiului [rot/min]

s - avansul [mm/rot]

s_v - viteza de avans a burghiului [mm/min].

iar

$$t_a = \frac{2(l_a + \sum_{i=1}^{n-1} l_i) + l_n}{v_g} \quad [\text{min}] \quad (7.3)$$

în care:

v_g este viteza mișcării de instalare (deplasare rapidă) a burghiului.

Rezultă că:

$$t_m = \frac{L}{s_v} + \frac{2(l_a + \sum_{i=1}^{n-1} l_i) + l_n}{v_g} \quad [\text{min}] \quad (7.4)$$

Dacă conform /70/ se admit lungimile:

$l_1 = 4D$; $l_2 = 6,5D$; $l_3 = 8D$ și în continuare

$l_j = l_{j-1} + D$ pentru $j \geq 4$ numărul de retrageri n pentru lungimi $L \geq 8D$ se poate calcula cu relația :

$$n = \frac{L - 8D}{D} + 3 \quad (7.5)$$

În condiții clasice de prelucrare (fără CA) se lucrează cu parametrii n , s , constanți pentru regimul de aşchiere.

Materialul prelucrat a fost aliajul CuZn 36- STAS 95-80 bară laminată de diametru 12 mm STAS 291/2-80 datorită faptului că este foarte frecvent utilizat în mecanică fină și se bucură de prelucrabilitate bună.

Conform recomandărilor /65/ și posibilităților micromășinii de găurit au fost folosite regimurile de aşchiere prezentate în tabelul 7.1. S-a admis ca lungimile de prelucrare, pentru care se face analiza comparativă să fie $L = (8 ; 10 ; 12 ; 15 ; 20) D$.

Tabelul 7.1

Diam. burgh. D	Turația burghielui n	Viteza de aşchiere v	Avansul burghielui f_z	Viteza de avans f_v	Durabilit. economică T
[mm]	[rot/min]	[m/min]	[mm/rot]	[mm/min]	[min]
0,5	8500	13,3	0,003	25,5	1
0,65	8500	17,36	0,0035	29,75	2
0,8	8500	21,4	0,004	34,0	3
1,0	8500	23,7	0,0045	38,2	3

Deoarece compararea se face în condițiile menținerii constante a durabilității sculei, pentru aprecierea acesteia s-a recurs la măsurarea momentului de torsiune la burghiu în timpul aşchiorii prin determinarea puterii (tensiunea și curentul) motorului electric al acționării principale. Astfel s-a constatat experimental creșterea momentului de torsiune la sfârșitul perioadei de durabilitate /65/ de cea 30% față de valoarea momentului de torsiune la burghiuul proaspăt ascuțit.

Rezultatele experimentale obținute în condițiile prelucrării clasice sînt prezentate în tabelul 7.2.

Din tabel se observă că timpul de mașină determinat experimental t_{me} este mai mare cu 15,5%... 23,5% față de cel

determinat pe cale analitică, datorită aproximărilor făcute în relația analitică, aproximări legate de perioadele de reverbare ale mișcării de burghiu.

Tabelul 7.2.

Diam. burghiu D	Rap. $\frac{L}{D}$	Lungimea găurii prelucrate L	Număr de retragci n	Timpul de masă t (analitic) t_{ma}	Timpul de masină (experiment) t_{me}	Capacitate de prod. lin C_{Pl}	Capacitate de prod. vol. C_{Pv}
[mm]	-	[mm]	-	[min]	[min]	[mm/min]	[mm ³ /min]
0,5	8	4,0	3	0,259	0,32	12,5	2,45
	10	5,0	5	0,4	0,5	10,0	1,96
	12	6,0	7	0,56	0,7	8,57	1,60
	15	7,5	10	0,84	1,04	7,21	1,42
	20	10,0	15	1,43	1,73	5,76	1,10
0,65	8	5,2	3	0,3	0,39	14,02	2,79
	10	6,5	5	0,475	0,575	11,3	2,25
	12	7,8	7	0,68	0,82	9,51	1,86
	15	9,75	10	1,04	1,24	7,66	1,49
	20	13,0	15	1,78	2,08	6,25	1,21
0,8	8	6,4	3	0,338	0,398	16,00	3,06
	10	8,0	5	0,545	0,645	12,4	2,33
	12	9,6	7	0,789	0,929	10,30	1,99
	15	12,0	10	1,22	1,42	8,45	1,60
	20	16,0	15	2,11	2,41	6,64	1,24
1,0	8	8,0	3	0,39	0,453	17,00	3,26
	10	10,0	5	0,64	0,750	13,55	2,56
	12	12,0	7	0,87	1,01	11,65	2,20
	15	15,0	10	1,28	1,51	8,92	1,69
	20	20,0	15	2,58	2,93	6,71	1,27

Variația capacității de producție funcție de adâncimea găurii prelucrate avînd ca parametru diametrul burghiului este prezentată în figura 7.3.

Se observă scăderea semnificativă a capacității de producție funcție de creșterea raportului L/D , datorită retragerilor frecvente pentru curățirea burghiului.

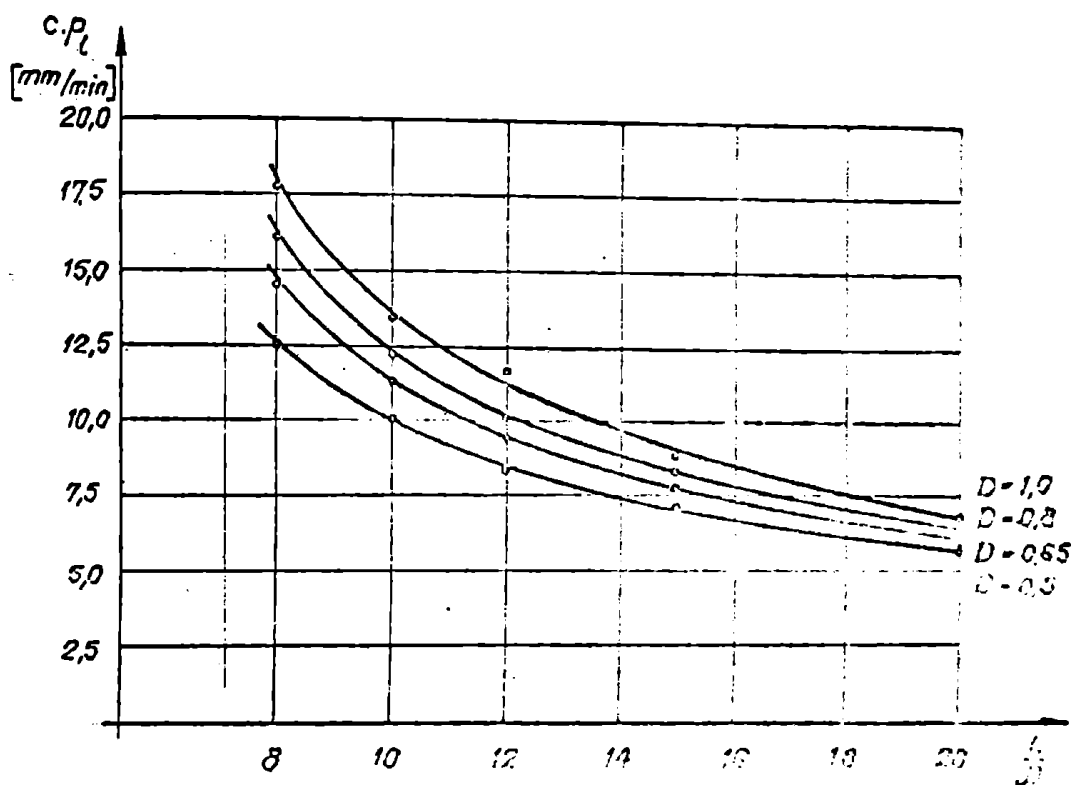


Fig.7.3. Capacitatea de producție la prelucrarea găurilor mici fără sistem de CA.

7.1.1.2. Determinarea capacității de producție în condițiile utilizării sistemului de comandă adaptivă.

Pentru determinarea capacității de producție în condițiile conducerii procesului de aşchiere prin comandă adaptivă, s-a reglat (prin încercări experimentale) un moment de torziune maxim admis de către burghiu, moment care conduce (conform schemei din fig.6.7) la o viteză de avans inițial maximă a_{VM} pentru fiecare diametru de burghiu. Valoarea a_{VM} depinde și de factorul de amplificare al părții electronice. Cunoșcând această viteză s-a admis ca retragerile periodice să se facă atunci când avansul din proces ajunge la cea 25% din avansul inițial (conform paragrafului 5.2.4). Prin măsurarea periodică a momentului de torziune la burghiu s-a verificat dacă burghiuul se află în perioada durabilității admise (conform tabelului 7.1).

În urma experimentărilor s-au obținut rezultatele din tab. 7.3, ce reprezintă valorile medii pentru un număr de 5 încercări

Tabelul 73

Diam. burg. D	Rap. $\frac{L}{D}$	Lung. gaurii prel. L	Viteza de avans inițial a_{vm}	Vit. de av. minim admis a_{vmin}	Număr de retrogeni n	Timpul de masină (experiment) t _{me}	Capacitatea de prod. lin. C.P.	Capacitatea de prod. vol. C.P.
[mm]	-	[mm]	[mm/min]	[mm/min]		[min]	[mm/min]	[mm ³ /min]
0,5	8	4,0	35	12,5	2,2	0,04	16,8	3,32
	10	5,0	50		3,6	0,33	13,0	2,73
	12	6,0	50		5,2	0,51	11,7	2,30
	15	7,5	50		6,6	0,80	9,4	1,85
	20	10,0	50		9,6	1,41	6,8	1,34
0,65	8	5,2	40	15	2,4	0,37	19,2	6,37
	10	6,5	60		3,8	0,42	15,5	3,15
	12	7,8	60		5,2	0,57	13,1	4,35
	15	9,75	60		7,2	0,92	10,6	3,52
	20	13,0	60		10,4	1,71	7,6	2,59
0,8	8	6,4	50	17,5	2,2	0,32	21,9	4,01
	10	8,0	70		4,0	0,46	17,3	3,72
	12	9,6	70		5,4	0,67	14,3	3,12
	15	12,0	70		7,6	1,06	11,5	5,78
	20	16,0	70		11,0	1,95	8,2	4,10
1,0	8	8,0	60	20	2,4	0,33	24,2	1,90
	10	10,0	80		4,2	0,52	19,2	15,1
	12	12,0	80		5,8	0,73	15,5	13,0
	15	15,0	80		8,4	1,19	12,6	9,0
	20	20,0	80		11,0	1,92	9,0	6,4

Se observă că valorile avansului inițial a_{vm} (la începutul aşchierii) sînt de cca 2 ori mai mari decît cele recomandate în literatura de specialitate /65/. Prin scîderea avansului în timpul prelucrării, valoarea avansului mediu realizat în timpul aşchierii este însă numai cu 22,5...30% mai mare decît avansul recomandat.

Reprezentînd grafic capacitatea de producție funcție de raportul L/D și avînd ca parametru diametrul burghiului D s-au obținut diagramele din figura 7.4.

Se evidențiază că și în condițiile conștii adaptive capacitatea de producție scade cu creșterea adîncimii orificiului prelucrat datorită retragerilor periodice necesare pentru curățirea burghiului, ea rîmînd totuși în permanență superioară

elei obținute la prelucrarea fără CA.

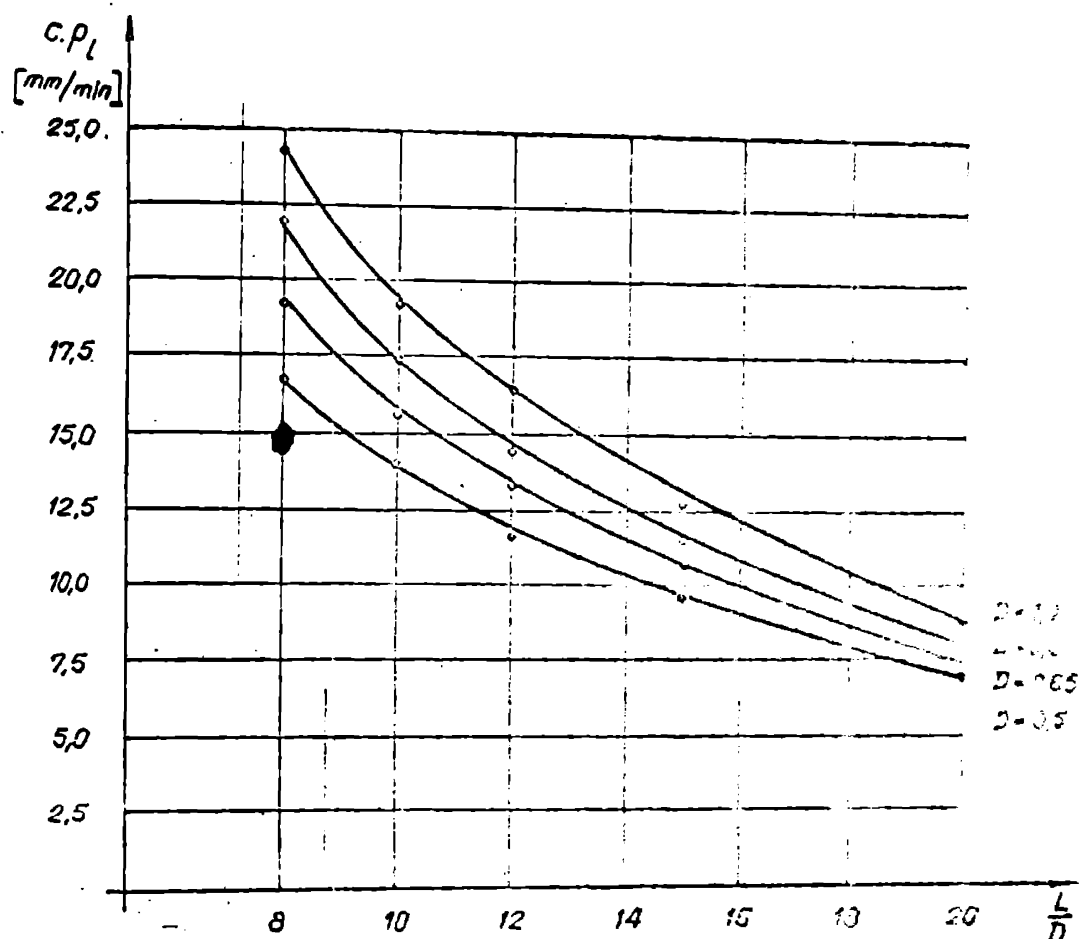


Fig. 7.4. Capacitatea de producție la prelucrarea găurilor mici cu sistem de CA.

7.1.2. Creșterea capacității de producție în condițiile sistemului de comandă adaptivă.

Creșterea capacității de producție C [%] în cazul utilizării comenzii adaptive în raport cu prelucrarea cu parametrii regimului de așchiere constanți, s-a determinat prin raportul capacităților de producție, stabilite prin metodele anterioare, cu relația:

$$C = \frac{c.p_1 (C.A) - c.p_1 (C.C)}{c.p_1 (C.C)} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7.6)$$

Variația lui C funcție de raportul L/D și având ca parametru diametrul burghiului este prezentată în figura 7.5.

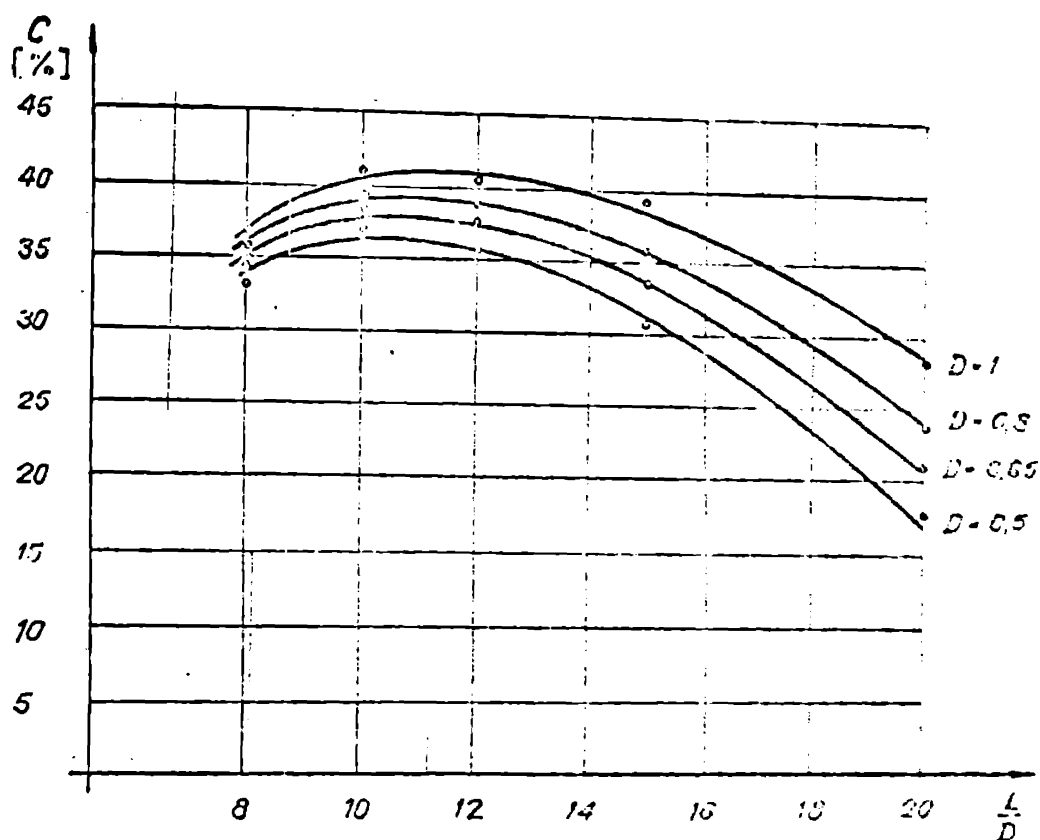


Fig. 7.5. Creșterea capacității de producție la prelucrarea găurilor mici.

Se menționează faptul că forma acestor curbe (inclusiv punctele de maxim) este valabilă pentru condițiile concrete în care s-a făcut experimentarea. Modificarea unuia din factorii care influențează $c.p_1$ în condițiile comenzii adaptive (de ex. valoarea avansului minim la care se produce retrogradarea) conduce la modificări sensibile ale formei acestor curbe.

Creșterea capacității de producție are tendința de diminuare pentru lungimi mari ale orificiului prelucrat datorită creșterii ponderii frecării dintre burghiu și orificiu chiar în absența așchierii fapt care diminuează valoarea σ_{vol} . Totuși creșterea capacității de producție în condițiile comenzii adaptive atinge valori cuprinse între cca 20 ... 45 %.

Pentru lungimi mici ale găurilor prelucrate, și în absența reglării vitezei de așchiere (a turației burghiului) creșterea capacității de producție poate atinge valori de 60 - 90 % dar cu diminuarea în oarecare măsură a durabilității.

Știind că durabilitatea T este dată de relația

$$T = \sqrt[m]{\frac{Cv}{v \cdot D^{x_v} \cdot s_v^y}} \quad [\text{min}] \quad (7.7)$$

rezultă că raportul durabilităților T_1 (la prelucrare fără comandă adaptivă) și T_2 (cu comandă adaptivă) va fi :

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt[m]{\frac{s_2^{y_v}}{s_1^{y_v}}} \quad \text{sau} \quad T_2 = \frac{T_1}{\sqrt[m]{\frac{s_2^{y_v}}{s_1^{y_v}}}} \quad [\text{min}] \quad (7.8)$$

în care: s_1 și s_2 sînt avansurile în condiții fără și respectiv cu comandă adaptivă;

m - exponent al durabilității.

Pentru $m = 0,2$, $s_2 \cong 2s_1$ și $y_v = 0,4$

$$T_2 \cong \frac{T_1}{4} \quad [\text{min}].$$

adică o diminuare substanțială a durabilității sculei ceea ce limitează avansul maxim utilizabil.

Din acest motiv a fost limitată valoarea avansului s_{vm} la $L/D \leq 8$ ceea ce are ca și consecință o diminuare a capacității de producție C .

Avantajele comenzii adaptive sînt maxime dacă se asigură concomitent cu schimbarea avansului și schimbarea turației astfel încît să se realizeze optimul economic așa cum se prezintă în /39/.

În acest caz durabilitatea sculei este cea stabilită prin criteriul de optimizare ales (de exemplu economic) sau poate fi ținută constantă.

Pentru a vizualiza modificarea parametrilor în timpul procesului de prelucrare s-a utilizat un osciloscop cu memorie I 37 (fabricație URSS) pe care au fost înregistrate :

- căderea de tensiune pe rezistorul R_2 (conform fig.6.7) ca mărime aproximativ proporțională cu momentul de torsiune din proces;
- tensiunea de alimentare a electromotorului de avans EA (conform fig.6.7) ca mărime aproximativ proporțională cu valoarea avansului curent.

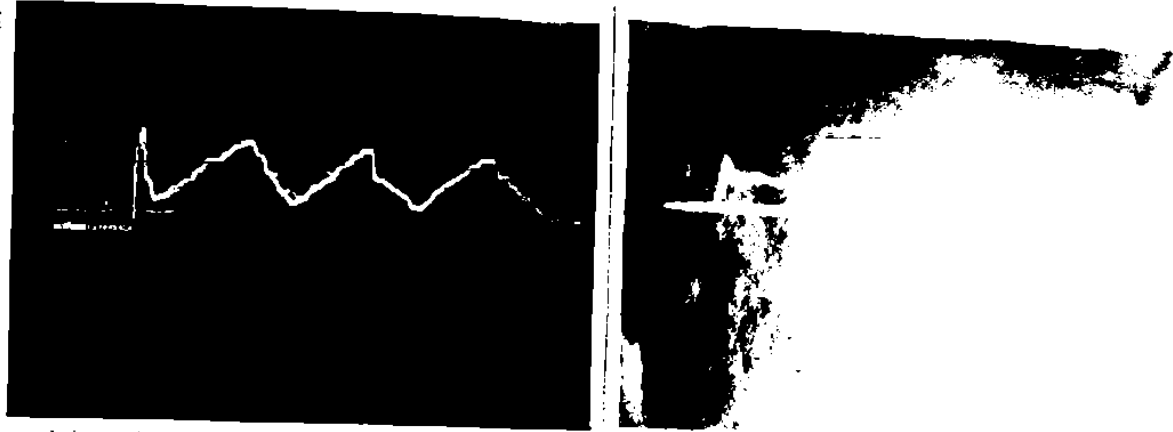


Fig. 7.6. Oscilogrammele variației momentului de torziune și a avansului în timpul procesului de prelucrare.

Oscilogrammele obținute pentru momentul de torziune și pentru avans sînt prezentate respectiv în figurile 7.6.a,b.

Deoarece pentru a putea înregistra pe osciloscopul cu memorie un număr de retrageri periodice pînă la finele prelucrării, scara timpului a trebuit să fie suficient de mică și pentru o mai facilă interpretare s-a recurs la reprezentarea grafică ca în figura 7.7 a variației parametrilor moment de torziune și avans, conform aspectului oscilogramelor.

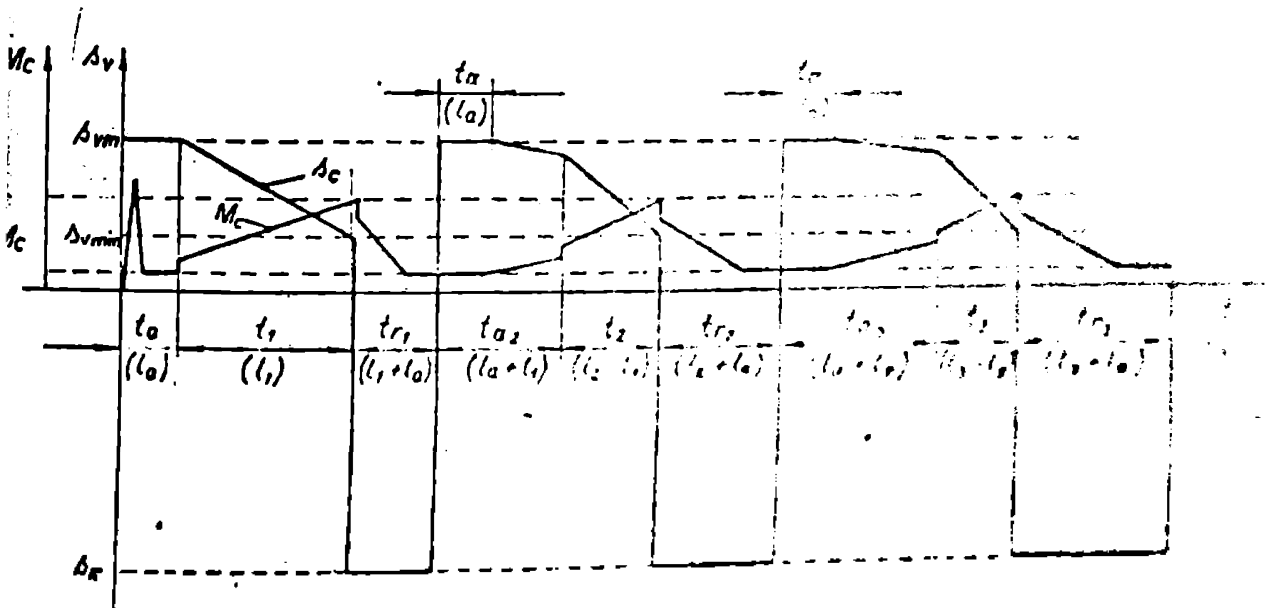


Fig. 7.7. Variația momentului de torziune și a avansului la prelucrarea găurilor mici.

Se observă că la începutul procesului de prelucrare momentul de torziune este minim și avansul are valoarea maximă

(limitată) s_{vm} și în continuare, avansul scade pe măsură creșterii momentului de torsiune, până se atinge valoarea avansului minim s_{vmin} apoi se produce retragerea burghiului pentru curățirea și răcire, cu viteză de retragere rapidă s_p , ciclul se reia cu valoarea avansului s_{vm} etc.

În continuare se remarcă o oarecare diminuare a avansului la începutul aşchierii, datorită frecării burghiului cu orificiul deja prelucrat fenomen ce diminuează capacitatea de producție. Creșterea momentului de torsiune este tot mai rapidă odată cu creșterea adâncimii de prelucrat datorită dificultăților de eliminare a aşchii fapt care impune retrageri periodice tot mai frecvente.

Avantajele majore și anume: retragerea burghiului numai fiind avansul curent atinge o valoare minimă s_{vmin} , respectiv momentul de torsiune nu depășește creșterea cu ΔM_c , se obțin în totă perioada prelucrării și reprezintă proprietăți deosebit de importante ale CA.

7.2. Cercetări experimentale ale comenzii adaptive a avansului la mașina CP-45 NC/AC

Comandă adaptivă realizată și implementată la mașina CP-45 NC/AC a permis efectuarea unor experimentări referitoare atât la concordanța parametrilor stabiliți pe cale analitică cu cei determinați experimental cât și la funcționalitatea de ansamblu a sistemului la prelucrarea găurilor având diametre cuprinse între 5 și 60 mm.

7.2.1. Determinarea experimentală a parametrilor "forță axială" și "moment de torsiune".

Sistemul de transductori instalați pe mașină, permite determinarea valorii forței axiale și a momentului de torsiune în procesul prelucrării. Pentru aceasta este necesar să se facă prelucrarea materialelor propuse spre studiere cu regimuri de aşchiere adecvate (stabilite prin calcule tehnologice) și folosind burghie corespunzătoare și la aparatele indicatoare pentru forță și moment ale sistemului de comandă adaptivă se citesc direct valorile acestor parametri.

Pentru aceste determinări avansul nu se reglează prin comandă adaptivă ci este constant, stabilit de către acționarea la avans a mașinii.

S-au efectuat un număr de 5 încercări pentru fiecare burghiu având ca material de prelucrat OLSO (STAS 500/2-80) rezultatele experimentale fiind prezentate în tabelul 7.4.

Tabelul 7.4

Diam. burgh.	Avansul Δ	Viteza de aşchiere v	Turația burghiu n	Viteza de avans Δ_0	Anchită		Experimentale		Abateri	
					Forța axială F_a	Moment de torsiune M_t	F_a	M_t	ϵ_F	ϵ_M
[mm]	[mm/rot]	[m/min]	[rot/min]	[mm/min]	[daN]	[N·m]	[daN]	[N·m]	(%)	(%)
10	0,25	21,4	660	170	231	338	150	130	-32,7	-11,8
15	0,4	18	380	152	402	500	300	200	-22,5	-20,0
20	0,5	17,7	280	140	751	863	500	400	-32,7	-29,7
25	0,65	16,5	210	136,5	1128	1247	610	500	-13,3	-11,1
30	0,75	16	170	127,5	1496	1816	1200	1000	-13,3	-11,1
40	0,5	19,8	160	80	1502	2333	1200	1000	-13,3	-11,1
50	0,25	26,2	180	45	1106	1937	700	500	-13,3	-11,1

Folosind valorile medii pentru fiecare determinare experimentală s-au calculat abaterile față de forța axială și respectiv momentul de torsiune determinate analitic. Abaterile sînt cuprinse între -10,2...-30,7% ceea ce dovedește că stabilirea analitică a forțelor și momentelor este destul de aproximativă și justifică încă o dată, necesitatea unor sisteme de măsurare efectivă a parametrilor de forță în timpul procesului de prelucrare.

7.2.2. Verificarea sistemului de comandă al retragerilor periodice ale burghiului pentru curățire și răcire.

Retragerile periodice pentru curățirea și răcirea burghiului se fac conform celor prezentate în paragraful 5.2.4 prin compararea indirectă a avansului curent (din proces) cu avansul minim admis. Sistemul electronic al comenzii adaptive compară tensiunea corespunzătoare valorii momentului de torsiune (care reprezintă indirect valoarea forței axiale inițiale) cu forța axială curentă (dependentă de avansul curent).

Pentru verificarea sistemului, cercetătorii au determinat experimental valorile forțelor axiale la prelucrarea etalului OL 50 cu răspunzătoare avansurilor inițiale și minime pentru diferite diametre ale burghiului. În tabelul 7.2 sunt prezentate comparativ rezultatele experimentale și cele stabilite pe cale analitică.

Tabelul 7.2

Diam. burg.	Avansul inițial	Avansul min. adm.	Turația Burg.	Viteza de avansare	Viteza de tăiere	Forța axială	Forța tangențială	Forța radială
[mm]	[mm/rot]	[mm/rot]	[rot/min]	[mm/min]	[mm/min]	[N]	[N]	[N]
10	0,312	0,075	300	2100	20	100	100	100
15	0,447	0,11	450	2700	20	150	150	150
20	0,572	0,145	315	1900	20	100	100	100
25	0,71	0,18	240	1440	20	100	100	100
30	0,82	0,2	200	1200	20	100	100	100
40	0,54	0,135	200	1000	27	100	100	100
50	0,31	0,08	200	620	27	100	100	100

Se observă că deși există diferențe între valorile stabilite analitic și experimentale, acestea sunt deosebit de mici, iar raportul forțelor se modifică puțin.

La efectuarea acestor determinări s-a procedat foarte rapid și responsabil durabilității economice și calității unui avans mic (între valoarea avansului inițial și valoarea avansului minim admis).

7.2.3. Determinarea creșterii capacității de producție în condițiile comenzii adaptive

Pentru determinarea creșterii capacității de producție în condițiile comenzii adaptive comparativ cu prelucrarea clasică și parametrii regimului de tăiere constant și menținând durabilitatea economică a burghiului s-a procedat la prelucrarea por orificii fără sistemul de comandă adaptiv și cu acesta. Experimentările s-au făcut asupra materialului OL 50 STAS 5607-1 prelucrat cu burghie elicoidale normale STAS 575-71.

7.2.3.1. Determinarea capacității de producție la prelucrarea orificiilor șabru 10...50 mm cu parametrii regimului de lucru constant (fără comerț de tăiere).

Determinarea s-a făcut pentru câteva diametre ale burghiului și adâncimi ale orificiului prelucrat conform datelor prezentate în tabelul 7.6. Regimul de tăiere a fost stabilit conform recomandărilor tabelului 7.5 pentru prelucrările de suprafețe re valorile parametrilor v , s , și f fiind prezentate în tab.7.6.

Diam. burg. D	Rap. $\frac{L}{D}$	Adînc. găurii L	Avanțul s	W. de tăiere v	Tăriea de regim s	Adânc. de tăiere f	Prod. pe min. Q_{min}	Prod. pe h. Q_{h}
[mm]	-	[mm]	[mm/rev]	[m/min]	[mm/rev]	[mm]	[mm ³ /min]	[mm ³ /h]
10	1	10	0,251	11,7	100	100	0,251	904
15		15	0,320	22,1	400	400	0,320	1152
20		20	0,389	29,2	500	500	0,389	1536
25		25	0,458	33,0	500	500	0,458	1824
30		30	0,485	33,0	500	500	0,485	1920
40		40	0,532	33,1	500	500	0,532	2112
50		50	0,594*	33,5	500	500	0,594	2352
10	3	30	0,271	17,34	100	100	0,271	974
15		45	0,283	16,52	300	450	0,283	1026
20		60	0,342	21,33	300	315	0,342	1230
25		75	0,381	21,33	300	300	0,381	1374
30		90	0,436	20,93	300	224	0,436	1566
40		120	0,480	20,10	300	150	0,480	1728
50		150	0,535*	20,7	300	100	0,535	1938
10	5	50	0,213	17,34	100	500	0,213	774
15		75	0,272	16,52	300	315	0,272	984
20		100	0,304	16,92	300	250	0,304	1104
25		125	0,348	16,92	300	200	0,348	1260
30		150	0,385	16,68	300	100	0,385	1398
10	7	70	0,250	16,52	300	500	0,250	900
15		105	0,256	16,52	300	250	0,256	924
20		140	0,285	16,20	300	224	0,285	1032
10	10	100	0,200	11,33	300	375	0,200	720
15		150	0,256	11,21	300	224	0,256	924

Obs: Avanzul s și v

Retragerile periodice pentru curățirea și răciria burilor
 -au efectuat conform recomandărilor /70/ (vezi anexa și fig. 7.6).

În urma experimentărilor s-a determinat capacitatea de
 producție c.p. și dependența acesteia de L și de D și a
 relucrat conform celor prezentate în figura 7.6.

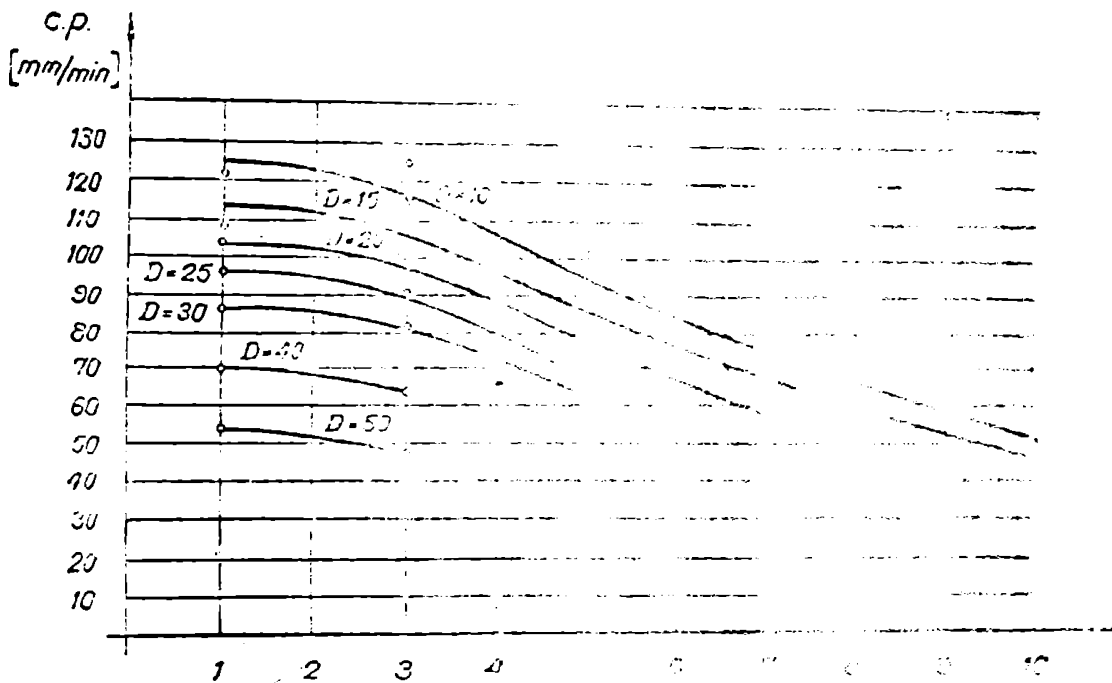


Fig. 7.6. Capacitatea de producție c.p. în funcție de lungimea L și de diametrul D
 între 10 și 50 mm și de c.p. inițială

Din analiza rezultatelor obținute în urma experimentărilor și din analiza
 a curbelor din figura 7.6 se poate observa că capacitatea de producție
 la prelucrarea burilor scade în mod semnificativ în funcție de
 lungimea L și de diametrul D. Astfel, pentru L = 10 și D = 15 mm
 este de cca 30% pentru L = 10 și D = 50 mm și de cca 60% pentru L = 10 și D = 50 mm.

7.2.3.2. Determinarea capacității de producție la
 prelucrarea burilor în condițiile uzuale de
 condițiile uzuale de prelucrare și de c.p. inițială

În acest caz valoarea c.p. inițială este de cca 120 mm/min și
 sistemul de comandă adaptiv al robotului c.p. inițială este de cca
 cca momentul de torziune de referință.

M_r este stabilit conform paragrafului 5.3. Turația este reglată în timp prin potențiometrului P_3 conform figurilor 6.10 și 6.23.

Turația burghiului s-a calculat având în vedere avansul s_{med} acceptând o variație liniară a celui din paragraful 5.2. Valoarea maximă a la valoarea minimă a avansului s_{min} care la prelucrat se realizează retrageri periodice pentru curățirea și răcirea burghiului.

(Valorile avansurilor s , stabilite grafic sînt indicate în figura 5.8). Turația burghiului este prezentată în tabelul 7.7 ținînd cont și de posibilitățile mașinii de giruit CF 4. NC/AC. Se remarcă faptul că turația la burghiu poate fi înaltă și prin comandă adaptivă, așa cum se vede în [3] conform criteriului eficienței economice maxime (consumul de prelucrare minim).

Valoarea vitezei avansului maxim admis s_{m} (la strălucirea burghiului) a fost stabilită conform celor prezentate în paragraful 5.4. și a fost reglată prin potențiometrului P_4 conform figurilor 6.10 și 6.23.

În urma determinărilor experimentale a timpului de răcire t_m s-a calculat capacitatea de prelucrare în funcție de dimensiunea orificiului prelucrat și avînd ca parametru diametrul. Rezultatele sînt prezentate în diagrama din figura 7.9.

Creșterea capacității de producție a fost calculată în funcție de comenzii adaptive a fost calculată în funcție de (7.6) funcție de raportul L/D și avînd ca parametru diametrul D . Rezultatele sînt prezentate în figura 7.10.

Se observă că C este maximă la valori mici, de raportului L/D și pentru diametre cuprinse între 15 și 20 mm și poate ajunge la 33%.

Pentru adîncimi mari C tinde să scadă, așa cum s-a stabilit anterior, datorită frecării între burghiu și orificiul celui în absența procesului de prelucrare.

Pentru diametre peste 40 mm, chiar la adîncimi mici de așchiere nu se obține o creștere a capacității de producție. Aceasta se datorează faptului că avansul admis în comenzii convenționale este identic cu cel stabilit prin comanda adaptivă fiind limitat de momentul de îndoire a mandrinii-unelte.

m. g.	Rep. $\frac{L}{D}$	Mom. de tors. de referință M_r	Viteza de aşchiere V	Turația burgh. n	Viteza avans f_{av}	Avans f_{av}	f_{av}	f_{av}
		[daN·mm]	[m/min]	[rot/min]	[mm/rot]	[mm]	[mm]	[mm]
7	1	1000	19,5	330	0,2	0,15	0,15	0,15
5		3000	17,1	310	0,2	0,15	0,15	0,15
0		6500	16,7	280	0,2	0,15	0,15	0,15
5		12000	16,5	280	0,2	0,15	0,15	0,15
0		19500	15,8	170	0,2	0,15	0,15	0,15
0		25000	19,7	140	0,2	0,15	0,15	0,15
0		25000	27,2	140	0,2	0,15	0,15	0,15
7	3	1000	19,5	330	0,2	0,15	0,15	0,15
5		3000	17,1	310	0,2	0,15	0,15	0,15
0		6500	16,7	280	0,2	0,15	0,15	0,15
5		12000	16,5	280	0,2	0,15	0,15	0,15
0		19500	15,8	170	0,2	0,15	0,15	0,15
0		25000	19,7	140	0,2	0,15	0,15	0,15
0		25000	27,2	140	0,2	0,15	0,15	0,15
0	6	1000	18,8	500	0,2	0,15	0,15	0,15
5		3000	18,5	415	0,2	0,15	0,15	0,15
10		4500	11,7	280	0,2	0,15	0,15	0,15
15		12000	15,5	180	0,2	0,15	0,15	0,15
10		19500	14,4	140	0,2	0,15	0,15	0,15
0	7	1000	16,1	570	0,2	0,15	0,15	0,15
5		3000	16,2	280	0,2	0,15	0,15	0,15
20		6500	19,3	120	0,2	0,15	0,15	0,15
10	10	1000	12,1	315	0,2	0,15	0,15	0,15
15		3000	11,9	230	0,2	0,15	0,15	0,15

In cazul prelucrării unor semifabricate cu diametri mici (peste 40 mm se poate produce chiar o "reacție de comandă") de producție în raport cu prelucrarea convențională, deoarece prin comanda adaptivă avansul se reduce cu raportarea afincării prelucrate. Se remarcă faptul că în cazul prelucrării cu parametrii ai regimului de aşchiere constantă (cu comandă adaptivă), pentru acest caz se produce o dereglare a raportului de torsionare al mașinii (cu valoarea nominală a motorului de frecare) ceea ce poate deveni periculos pentru mașină și operator.

de torsiune din proces devăzându-se mult mai mult decât în cazul
 mașinii. Depășirea momentului de torsiune în cazul prelucrării
 în cazul prelucrării găurilor mici, rășirea la momentul oportun,
 cu consecințe nefavorabile asupra procesului de prelucrare.

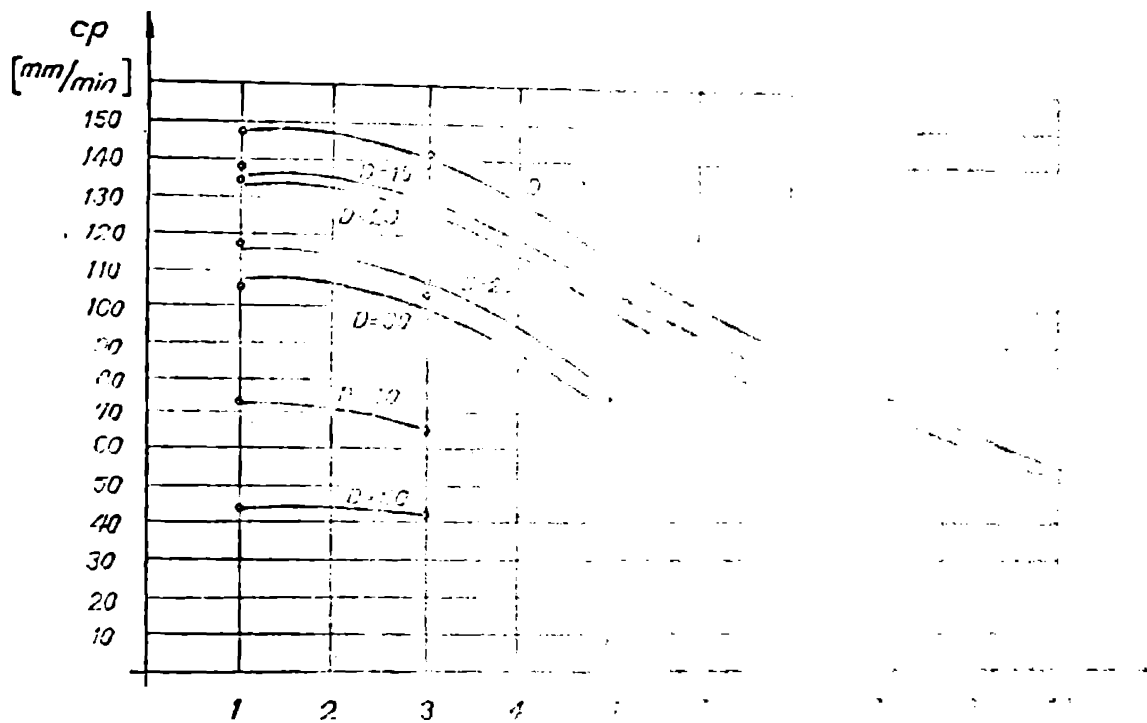


Fig. 7.9. Capacitatea de producție la prelucrarea găurilor în 10 și 50 mm cu...

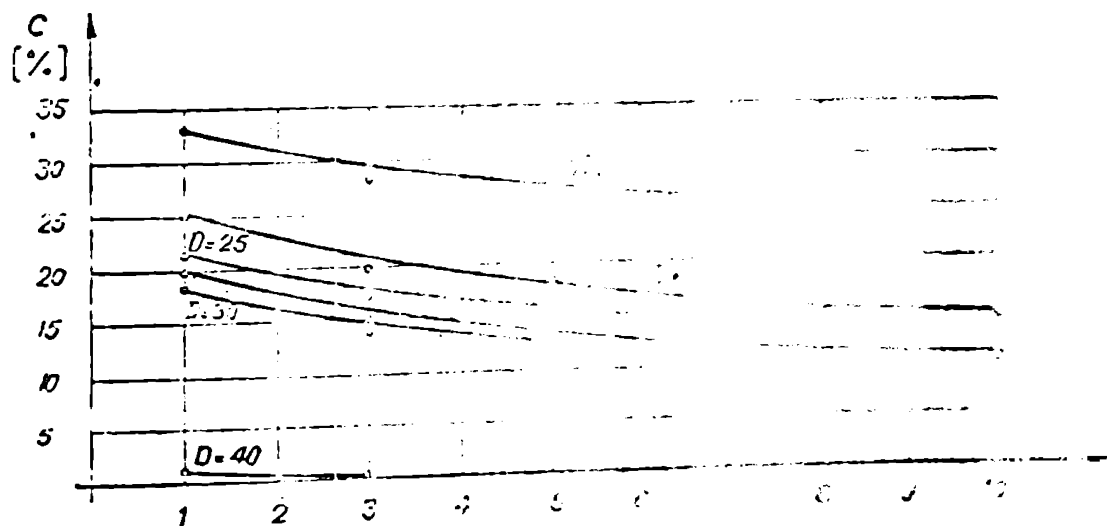


Fig. 7.10. Creșterea capacității de producție la prelucrarea găurilor între 10 și 50 mm...

Numai această caracteristică de adaptabilitate a creșterii capacității de producție poate constitui un avantaj adaptiv.

7.3. Concluzii comparative și direcții de cercetare de viitor.

Prin cercetarea experimentală a sistemelor de comandă adaptivă s-a demonstrat în mod clar în evidență avantajele acestor sisteme față de sistemul de comandă clasică (cu parametri și rezoluții constante). În urma prezentei lucrări rezumat concluziile acestor cercetări sunt:

a)- Prin comanda adaptivă se obțin creșteri semnificative ale capacității de producție și condițiile de lucru sunt îmbunătățite în ceea ce privește eficiența economică a mașinii. Aceste rezultate sunt datorate în mare măsură de caracteristicile regimului de comandă adaptivă.

b)- Se stabilesc judicios regimurile de lucru pentru curățire-răcire, fapt care contribuie la alungirea duratei de viață a timpilor auxiliari.

c)- Se realizează o protecție eficientă față de supraîncălzirea burghiului cât și a maginii-mășinile de lucru conducând la creșterea duratei de viață a acestora cu impacte pozitive economice.

d)- Nu mai sînt necesare calculul și proiectarea mașinilor sau alegerea acestuia din tabele și potecă în ceea ce privește regimul mașinii, fapt care simplifică proiectarea tehnologică special la produse de serie mică sau unitare.

Sistemele de comandă adaptivă realizate (sau derivate din acestea) pot fi în viitor implementate în mașinile de lucru, mașini de găurit, centre de prelucrare etc.

Sistemele pot fi completate cu sisteme de comandă adaptivă pentru reglarea prin care să se stabilizeze poziția și viteza de deplasare a mașinii conform unor criterii diferite față de cele prezentate în prezenta lucrare.

8. CONCLUZII GENERALE SI CONSIDERATII CRITICALE.

1. Pe plan mondial și în țara noastră, cercetări intense în vederea realizării unor comenzi adaptive, în dorința realizării unor dispozitive, a capacității de producție, precum și a unor combinații a acestora).

În majoritate, aceste cercetări se desfășoară în laborator și sînt relativ puțin aplicative, ceea ce se oferă pe piața internă. În țările din Occident, se realizează cercetări în domeniul S.S., R.F.G. și celelalte țări dezvoltate, comandă adaptivă în S.M.M. (Mășini comandate automat).

Cercetările din țara noastră se desfășoară în mare parte către colectivul disciplinei de Inginerie Mecanică și Facultății de Mecanică din I.T.I. București, cu participarea directă a Prof. Dr. Gheorghe Popescu, care a realizat o serie de tipuri de mașini-unelte cu comandă adaptivă de pionierat (unelte cu comandă adaptivă de pionierat).

2. Procesul de găurire are caracteristici foarte complexe. Astfel eliminarea materialului dintr-un punct se face cu atât mai dificil cu cât se mărește dimensiunea și se mărește controlul procesului de găurire este mai dificil. Găurirea sculei este greoaie și necesită o atenție deosebită și o muncă normală. Cu rîndirea tehnicii de găurire matematică este practic imposibil să se realizeze o comandă adaptivă a acestora), ceea ce înseamnă că realizarea unor mașini cu comenzi adaptive.

Mai mult, realizarea unor comenzi adaptive este imposibilă fără existența unor dispozitive care să controleze procesul de prelucrare (forță, temperatură, etc.) prin care să se controleze și să se realizeze operațiunile operatorului.

Problema diagnosticării stării de funcționare a mașinilor este foarte multă mașini (centre de prelucrare etc.).

... în vederea realizării unor dispozitive adaptive, a capacității de producție, precum și a unor combinații a acestora).

În majoritate, aceste cercetări se desfășoară în laborator și sînt relativ puțin aplicative, ceea ce se oferă pe piața internă. În țările din Occident, se realizează cercetări în domeniul S.S., R.F.G. și celelalte țări dezvoltate, comandă adaptivă în S.M.M. (Mășini comandate automat).

Cercetările din țara noastră se desfășoară în mare parte către colectivul disciplinei de Inginerie Mecanică și Facultății de Mecanică din I.T.I. București, cu participarea directă a Prof. Dr. Gheorghe Popescu, care a realizat o serie de tipuri de mașini-unelte cu comandă adaptivă de pionierat (unelte cu comandă adaptivă de pionierat).

2. Procesul de găurire are caracteristici foarte complexe. Astfel eliminarea materialului dintr-un punct se face cu atât mai dificil cu cât se mărește dimensiunea și se mărește controlul procesului de găurire este mai dificil. Găurirea sculei este greoaie și necesită o atenție deosebită și o muncă normală. Cu rîndirea tehnicii de găurire matematică este practic imposibil să se realizeze o comandă adaptivă a acestora), ceea ce înseamnă că realizarea unor mașini cu comenzi adaptive.

Mai mult, realizarea unor comenzi adaptive este imposibilă fără existența unor dispozitive care să controleze procesul de prelucrare (forță, temperatură, etc.) prin care să se controleze și să se realizeze operațiunile operatorului.

Problema diagnosticării stării de funcționare a mașinilor este foarte multă mașini (centre de prelucrare etc.).

i nu poate fi rezolvată fără existența...

3. Prin comanda adaptivă a avansului... este creșterea eficienței procesului de... (operației), ridicarea capacității de... concomitent cu protejarea sculei, cu... educerea substanțială a preciziei...

4. În teză s-au prezentat principia... înă în prezent pentru comenzi adaptive... ermanțele acestora și s-a făcut o analiză... lvă a variantelor unui astfel de sistem... e trebuie să le îndeplinească mașina-...

S-a prezentat stadiul introducerii... a diverse tipuri de mașini-unelte, unde... rial și realizate, în majoritate prin... ea directă a profesorului Dr. ing. Miron... imigoara' creatorul acestei denotări... ulcel cu cel pe plan mondial.

5. Prin analiza modului actual... e asigurare la gîurire s-a evidențiat... entru parametrii regimului de gîurire... e la un autor la altul, deoarece... e experimental și deci valabile numai... rete. Aceeași observație este... tabilirea forțelor și momentelor...

Aceste constatări justifică... enzii adaptive la care procesul preluc... e valorile măsurate și deci reale ale... are trebuie să corespundă măr...

6. Datorită faptului că... ială reprezintă parametri... ii, s-a ales ca mărime controlată... ar pentru protecția sculei (la ilcobaj),... Ńurului axial, a sistemului de... erilor periodice, s-a recurs și la măsur...

- Avantajele acestei alegări constau în:
- posibilitatea măsurării simultane și...
 - măsurimea de referință a...

tabili ținând cont de influențele majorității și de riscurile ce apar în timpul procesului prelucrării (ca de ex. for. de torsiune, forța axială maximă admisă de mașină etc.);

- posibilitatea comandării ciclului de lucru în perioade periodice ale burghialui pentru curățirea și lubrifierea sa în funcție de vârstă și a forței axiale.

7. Deoarece elementele tractoare au o mare importanță pentru fiabilitatea unui mecanism, s-a realizat o serie de cercetări experimentale pentru stabilirea condițiilor optime de lucru și a parametrilor principali pentru proiectarea și construirea mașinilor de găurit și centrare. Au fost utilizate metode de măsurare a forței axiale și a momentului de torsiune de către Prof. Dr. ing. B. Bocu, S. Bocu și alții. Rezultatele sunt prezentate în lucrările: "Măsurarea forței axiale și a momentului de torsiune la mașinile de găurit și centrare", T.I.B-1985.

8. S-au analizat construcțiile de mașini de găurit și centrare din punct de vedere al componentelor de măsurare, realizându-se componente de măsurare originale, pentru măsurarea forței axiale și a momentului de torsiune la mașinile de găurit, centre de prelucrare etc.

Un astfel de component a fost realizat de către Prof. Dr. ing. B. Bocu și S. Bocu în cadrul lucrării: "Măsurarea forței axiale și a momentului de torsiune la mașinile de găurit și centrare", T.I.B-1985.

Componentele pentru măsurarea forței axiale și a momentului de torsiune la mașinile de găurit și centrare au fost utilizate în cadrul lucrării: "Măsurarea forței axiale și a momentului de torsiune la mașinile de găurit și centrare", T.I.B-1985.

9. S-a stabilit că cel mai bun mod de proiectare și realizare a mașinilor de găurit și centrare este într-o manieră metodică originală, reducându-se la minimum timpul și costurile necesare pentru proiectarea și construirea acestor mașini. Acest lucru a fost realizat în cadrul lucrării: "Măsurarea forței axiale și a momentului de torsiune la mașinile de găurit și centrare", T.I.B-1985.

la valori de referință pentru momentul
forța axială, precum și a sarcinii de lucru
constituite evident un avantaj în erorile

10. Retroagerile periodice și varia-
țiului s-au stabilit printr-o metodă
rea semnalului momentului la terțiale cu
curenți, metodică care permite realizarea
ții electronice de comandă.

11. Deoarece calculul pentru valo-
referință a momentului de torsie
utilizează mărimi ce depind de
porat un program ori înal pentru a
stabilească valoarea acestor
foarte scurt.

12. S-a stabilit pe baza
le producție în condițiile

13. În caz că se utilizează
zarea unei anumite precizii, s-a utilizat
nensii adaptive și pentru

14. Bazat pe
lizate și experimentate
adaptivă a avansului :

- a - comandă adaptivă
 - b - comandă adaptivă
- ntre 5... 65 mm.

15. Pentru a putea fi
rii în regim fără comandă
sistemul de comandă adaptiv,
o acționare de avans continuu

Acționarea realizată ar
racteristicii $n = f(M)$ ceea ce
acționării unde se cere turație
variabil și totodată
turației.

16. Comanda adaptivă pentru găuri mici de dimensiuni variabile, a fost instalată pe o micromășină de găurit cu comandă adaptivă realizare proprie.

17. S-a realizat o comandă adaptivă pentru găuri mici de dimensiuni originale care a fost instalată pe o micromășină de găurit de tipul GP 45 NC/AC.

18. Deoarece mașina GP 45 NC/AC este un mecanism mecanic electric continuu cu electromotor, pentru realizarea comenzii adaptivă de avans, s-a implementat sistemul de comandă adaptivă în sistemul de comandă al mașinii de găurit. Prin sistemul de comandă adaptivă, mecanismul care acționează un pot. și un alt mecanism existent în construcția originală a mașinii de găurit.

19. Completările aduse la proiectarea și realizarea ansamblului arbore principal (1) și la proiectarea și realizarea traductoare pentru poziții și dimensiuni variabile ale găurilor, schimbările necesare în partea electronică a mașinii de găurit și a mașinii-uneelte sunt necesare.

În caz că o mașină de găurit este proiectată în proiectare) de sisteme de comandă adaptivă pentru găuri mici și a forței axiale și de comandă adaptivă pentru găuri mici, introducerea comenzii adaptivă în mașina de găurit.

20. S-a analizat construcia și realizarea componentelor electronice componente ale sistemului de comandă adaptivă pentru găuri mici.

21. Partea electronică a sistemului de comandă adaptivă pentru găuri mici este realizată în proiectare) de sisteme de comandă adaptivă pentru găuri mici și a forței axiale și de comandă adaptivă pentru găuri mici, introducerea comenzii adaptivă în mașina de găurit.

22. În urma experimentării sistemului de comandă adaptivă pentru găuri mici s-a constatat că acest sistem de comandă adaptivă pentru găuri mici este realizat în proiectare) de sisteme de comandă adaptivă pentru găuri mici și a forței axiale și de comandă adaptivă pentru găuri mici, introducerea comenzii adaptivă în mașina de găurit.

acestei maşini, conform celor prezentate în anexa, trebuie să
într-un raport sensibil mai mare decât cel al maşinilor
lui de cost (cu numai max. 2%).

Se poate afirma deci că eficienţa maşinilor este
este indiscutabilă.

BIBLIOGRAFIA

1. x x x
2. Acerkan, N.S. ș.a.
3. Aclenci, M., Chelaru, T.
4. Babuția, I., Dudușan, I.
5. Babuția, I., Dudușan, I.
6. Balakșin, B.S. ș.a.
7. Balakșin, B.S. ș.a.
8. Balakșin, B.S. ș.a.
9. Baqtuiroa, Gh., Dodon, E., ș.a.
10. Băilă, Neogoe.

11. Bajeu, G., Stancu, C. Generalitate 1950
12. Boangiu, Gh. la Editura 1950
13. Boangiu, Gh. Contribuții 1950
14. Botez, E. 1950
15. Botez, E. 1950
16. Botez, E. 1950
17. Botjan, N.V. 1950
18. Brașovan, M., Saraciu, S.,
 Bogoevici, N. 1950
19. Bron, L.S., Tartacovski, I. 1950
20. Bulucea, C. 1950
21. Călin, S., Balaș, G. 1950
22. Ceangă, E., Șimac, ...
 Banu, E. 1950
23. Constantin, P., Croitor, E.,
 Bumuloiu, V., Rădoi, C. 1950

4. Dascălu, D., Turic, L.,
Hoffman, I.

Cercetare de...
...
... 19...

5. Dodon, E.

...
...
...
...
...
...
...

6. Dodon, E.

...
...
...
...
...

7. Dodon, E. ș.a.

...
...
...
...
...

8. Dodon, E.

...
...
...
...
...

9. Dodon, E., Busulică, D.

...
...
...
...
...
...
...
...
...

10. Dodon, E., Vonica, C.,
Grosu, I. Fl., Urdea, G.

...
...
...
...
...
...
...
...
...

11. Dodon, E., Grosu, I. Fl.,
Urdea, G.

...
...
...
...
...
...
...
...
...

12. Dodon, E., Grosu, I. Fl.

...
...
...

33. Dodon, E., Grosu, I. Fl. torziune de ...
Confederația ...
na, 1981
34. Dodon, E., Urdea, Gh., Elucidarea ...
Grosu, I. Fl. derivate ...
IV-a IU ...
35. Drăghici, I. ș.a. Elemente ...
teoretice ...
36. Ernst, P. Probleme ...
37. Folea, I. Elemente ...
teorie ...
38. Fransua, Al., Sacl, C., Aplicații ...
Topa, I. ...
39. Ganea, M. (Cond. științific Probleme ...
Dodon, E). ...
40. Gheghea, I., Tabără, V., Elemente ...
Dorin, A., Pană, C. ...
41. Gheghea, I. ș.a. Elemente ...
... ..
42. Gray, P.E. ș.a. Elemente ...
... ..

3. Grosu, I. Fl., Urdea, G.,
Egler, I.

4. Grosu, I. Fl.

5. Grosu, I. Fl.

6. Grosu, I. Fl.

7. Guranic, M. H.

8. Heisel, U.

9. Ionescu, G. s. a.

10. Karlov, R. F.

11. Kaufmann, B., Schmidt, H. I.

- 52. Kelemen, A.
- 53. Kondaschewski, W. W.,
Fedetov, A. W.
- 54. Lautenbach, F.
- 55. Lăzărescu, I. D.
- 56. Lăzărescu, I. D.
- 57. Lederberger, A.
- 58. Lisicinski, L. Iu.,
Rabinovici, V. I.
- 59. Lisicinski, L. Iu., Moscow,
E. A., Rabinovici, V. I.
- 60. Nicolau, E. C. (coord) S. R.
- 61. Oprean, A.
- 62. Oprean, A. S. R.
- 63. Orosari Erwin.

64. Pfeifer, T.	...	...
65. Picoş, C. s.a	...	...
66. Ponner, I.	...	...
67. Rabinovici, I. s.a.	...	...
68. Sauer, L.	...	...
69. Sauer, L.	...	...
70. Sauer, L., Ionescu, Ch.	...	...
71. Săvescu, M. s.a.	...	...
72. Schlesinger, W.	...	...
73. Spur, G., Poitschov, G.	...	...
74. Stöckmann, F., ...	...	...
75. Stupel, F.A.	...	...
76. Stütz, G., Götz, F. K., Maier, K., Pilüger, A.	...	...

77. Suru, P.

1951
1952
1953
1954

78. Teitlin, L.N., Simohin, A.I.

1951
1952
1953
1954

79. Treskoi, M.M.

1951
1952
1953
1954

80. Tverskoi, M.M.

1951
1952
1953
1954

81. Tverskoi, M.M., Polotsky, V.A.

1951
1952
1953
1954

82. Tverskoi, M.M., Seromentien
A.D., Polotsky, V.A.

1951
1952
1953
1954

83. Urdea, G., Buliga, M.,
Grosu, I. Fl.

1951
1952
1953
1954

84. Urdea, G., Grosu, I. Fl.

1957-1958
1959-1960
1961-1962
1963-1964
1965-1966
1967-1968
1969-1970
1971-1972
1973-1974
1975-1976
1977-1978
1979-1980
1981-1982
1983-1984
1985-1986
1987-1988
1989-1990
1991-1992
1993-1994
1995-1996
1997-1998
1999-2000
2001-2002
2003-2004
2005-2006
2007-2008
2009-2010
2011-2012
2013-2014
2015-2016
2017-2018
2019-2020
2021-2022
2023-2024
2025-2026
2027-2028
2029-2030
2031-2032
2033-2034
2035-2036
2037-2038
2039-2040
2041-2042
2043-2044
2045-2046
2047-2048
2049-2050
2051-2052
2053-2054
2055-2056
2057-2058
2059-2060
2061-2062
2063-2064
2065-2066
2067-2068
2069-2070
2071-2072
2073-2074
2075-2076
2077-2078
2079-2080
2081-2082
2083-2084
2085-2086
2087-2088
2089-2090
2091-2092
2093-2094
2095-2096
2097-2098
2099-2100

85. Urdea, G.

86. Vătăşescu, A. s.a.

87. Vătăşescu, A. s.a.

88. Vlase, A., Sturza, A., s.a.

89. Vonica, C.

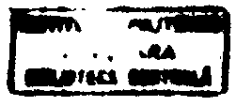
90. Zamfir, Gh.

91. Zecanaldin, V. I.

92.	x	x	x	...
93.	x	x	x	...
94.	x	x	x	...
95.	x	x	x	...
96.	x	x	x	...
97.	x	x	x	...
98.	x	x	x	...
99.	x	x	x	...
100.	x	x	x	...
101.	x	x	x	...
102.	x	x	x	...
103.	x	x	x	...

- 104. x x x
- 105. x x x

1948 CT22-75 - 1948
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..



C U P R I N S

1. INTRODUCERE	
1.1. Dezvoltarea industrială a activității de proiectare în R.S. România	
1.2. Locul comenzilor adaptative în dezvoltarea mașinilor-unelte	
1.3. Stadiul introducerii comenzilor adaptative în mașini-unelte	
1.4. Factorii care duc la dezvoltarea comenzilor adaptive la mașini-unelte	
2. STADIUL ACTUAL AL COMENZII ADAPTATIVE LA MAȘINI- UNELTE DE GĂURIT	
2.1. Probleme generale	
2.2. Sistem de comandă adaptativă a unei unități de găurire	
2.3. Sistem cu stabilizare a poziției de torziune pentru găurirea adâncă	
2.4. Instalație experimentală pentru găurirea adâncă	
2.5. Sisteme de comandă adaptative pentru găurirea adâncă	
2.6. Sisteme pentru supravegherea găuririi	
2.7. Concluzii	
3. REGIMUL DE ASCHIERE LA GĂURIRE	
3.1. Analiza metodelor de măsurare a metrului regimului de aschiere la găurirea adâncă	
3.1.1. Regimul de aschiere la găurirea adâncă folosind burghie elicoidale	
3.1.2. Regimul de aschiere la găurirea adâncă folosind scule speciale	
3.1.3. Observații asupra metodei de stabilire a parametrilor de aschiere la găurirea adâncă	

3.2. Obiectivele realizării în condițiile cerinței	.....	.....
TRADUCTOARE ȘI COMPONENTE DE TRACTOR		
4.1. Condiții necesare pentru componente de tracțiune	.....	.....
4.2. Construcții de tracțiune măsură nominală	.....	.....
4.2.1. Tractorul de câmp	.....	.....
4.2.2. Componente de tracțiune pentru tractoare	.....	.....
4.3. Contribuția la tracțiune a componentelor de tracțiune de tracțiune	.....	.....
4.3.1. Tractorul de câmp	.....	.....
4.3.2. Componente de tracțiune axiale	.....	.....
4.3.3. Componente de tracțiune de tracțiune	.....	.....
4.4. Concluzii	.....	.....
STABILIREA ALGORITMULUI DE AVANSULUI LA ȘI		
5.1. Alegerea algoritmului	.....	.....
5.2. Algoritmul de funcție de avans maximă	.....	.....
5.2.1. Momentul de tracțiune de către funcție	.....	.....
5.2.2. Influența rezistenței la maximă a funcției	.....	.....
5.2.3. Influența rezistenței la tracțiune	.....	.....
5.2.4. Variația avansului al rezistenței la tracțiune	.....	.....

5.2.5. Verificarea	.....	10
funcțiilor de comandă	.....	10
5.3. Algoritmii de	.....	11
de comandă	.....	11
5.4. Modalități pentru	.....	12
la pătura de	.....	12
diștile comandă	.....	12
5.4.1. Sistemul	.....	12
lui de comandă	.....	12
manipulării	.....	12
5.4.2. Limitarea	.....	12
lui de comandă	.....	12
fără comandă	.....	12
5.5. Creșterea capacității	.....	13
comandă	.....	13
5.6. Concluzii.....	.....	13
C. REALIZARI DE COMANDĂ	.....	14
MASINI DE COMANDĂ.....	.....	14
6.1. Micromagazinarea	.....	15
diametru mic (2,5...)	.....	15
6.1.1. Acționarea	.....	15
avansului	.....	15
6.1.2. Sistem de comandă	.....	17
pentru prelucrare	.....	17
6.2. Sistem de comandă	.....	18
prelucrare	.....	18
între 3 ...	.....	18
6.2.1. Comanda	.....	18
GR-10/10.....	.....	18
6.2.2. Soluții	.....	19
adaptive	.....	19
6.2.3. Sistem	.....	19
de comandă	.....	19
6.2.4. Analiza	.....	19
comandă	.....	19

6.2.4.1.	12	.....	.....
6.2.4.2.	12	.....	.....
6.2.4.3.	12	.....	.....
6.2.4.4.	12	.....	.....
6.2.4.5.	12	.....	.....
6.2.5.	12	.....	.....
6.2.6.	12	.....	.....
6.3.	12	.....	.....
7.	12	.....	.....
7.1.	12	.....	.....
7.1.1.	12	.....	.....
7.1.1.1.	12	.....	.....
7.1.1.2.	12	.....	.....
7.1.1.3.	12	.....	.....
7.1.1.4.	12	.....	.....
7.1.1.5.	12	.....	.....
7.1.1.6.	12	.....	.....
7.2.	12	.....	.....
7.2.1.	12	.....	.....

7.2.2. Verificarea	
retrogradă	
pentru cauză	
7.2.3. Baza	
de lucru	
de lucru	
7.2.3.1. Baza	
de lucru	
de lucru	
de lucru	
7.2.3.2. Baza	
de lucru	
de lucru	
de lucru	
7.3. Concluzii	
concluzii	
concluzii	
8. CONCLUZII GENERALE	
BIBLIOGRAFIE	
CUPRINS	