

MINISTERUL ÎNSUȘIRII DE ÎNVĂȚĂMÎNTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC "GHEORGHE VOIA" TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

INGINER VIOREL PUTZ

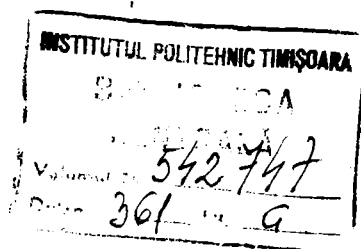
TEZA DE DOCTORAT

DURABILITATEA SCULELOR ȘI PRECIZIA PIEȘII ÎN CONDIIȚIILE
REGLARII PRIN COMANDA ADAPTIVĂ A REȚILOR DE ERORI PE MASINI
UNELTE DE BĂNTOCAT CU FREZA MELC-CILINDRICALĂ

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICĂ"
TIMIȘOARA

COND. ȘTIINȚIFICE
PROF. DR. ING. DOBOK EUGEN

1089



C O N T I N U T

1. INTRODUCERE	1
1.1. Considerații privind dezvoltarea industriei constructoare de mașini unelte în R.S. România	1
1.2. Aprecieri privind rolul comenzii adaptive la mașini-unelte	2
1.3. Probleme specifice ale introducerii sistemelor de comandă adaptivă pentru mașini de danturare cu freză-melc cilindrică, roți dințate	3
2. CICLURI DE LUCRARE ȘI CRITERIIA DE OPTIMIZARE	4
2.1. Căsurile tehnologice posibile de inovat	4
2.2. Despre criteriile de optimizare cu bază pe CA și PE	5
2.3. Situația optimizării la danturarea cu freză-melc cilindrică	6
3. PROBLEME ALE UZURII LA DANTURAREA CU FREZĂ-MELC CILINDRICĂ	20
3.1. Definițiile uzurii în condițiile frezei-melc	21
3.2. Precizări a limitelor de uzură	22
3.3. Moduri de exprimare a mărimilor uzurii	23
3.4. Factorii de influență a intensității uzurii	24
3.5. Influența vitezei de aşchiere și a avansului	25
4. ÎNCALZIRII ȘI SISTEME PENTRU CONTROLUL ȘI ÎNCURAJAREA UZURII FREZELOR-MELC CILINDRICE	27
4.1. Generalități	27
4.2. Metode și mijloace cunoscute de măsurare a uzurii	28
4.3. Construcția aparatului elaborat pentru studiul uzurii FMC	30
5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU STUDIUL SUBORDINĂRII FREZELOR-MELC CILINDRICE. REGIMUL DEBILOR DANTURATE ÎN CONDIȚIILE CONDUCERII A MĂNII-UNELTE CU COMANDA ADAPTIVĂ A AVANSULUI	31
5.1. Condițiile generale ale cercetărilor	31
5.2. Determinări experimentale a influenței parametrilor aşchierii (s , v_{ap}) asupra evoluției uzurii la danturarea cu freză-melc cilindrică	32
5.3. Concluzii	116
5.4. Precizia roților dințate cilindrice, danturate, în condițiile conducerii EDPMC cu CA și avansului	

5.5. Concluzii.	138
6. RELATIILE VITEZEI DE ASCHIERE	141
6.1. Obiective și metodică de lucru.	141
6.2. Rezultate experimentale.	144
6.3. Stabilirea relațiilor vitezei de aşchiere.	152
6.4. Verificări și recomandări.	156
6.5. Viteza economică.	162
7. CONTRIBUTII ORIGINALE SI CONCLUZII GENERALE	167
BIBLIOGRAFIE.	175

A B R E V I E R I
în ordinea apariției în text

CA	- comandă adaptivă
SCA	- sistem de comandă adaptivă
MU	- mașină-unealtă
FMC	- freză-melc cilindrică
MDFMC	- mașină de danturat cu freză melc cilindrică
STE	- sistem tehnologic elastic
SAV	- în sensul avansului
CAV	- în contra avansului
CT	- ciclu tehnologic
Pax	- pătrundere axială
Pra	- pătrundere radială
FM	- freză-melc
RD	- roată dințată
MDFM	- mașină de danturat cu freză-melc
ACUFM	- aparat pentru controlul uzurii frezelor-melc
AP	- arbore principal
SCO	- servocomandă
RDC	- roți dințate cilindrice
A ₁	- față de așezare
A ₂	- față de degajare
SFF	- sistem flexibil de fabricație
CFP	- celulă flexibilă de fabricație
CF	- celulă flexibilă

1. INTRODUCERE

1.1. Considerații privind dezvoltarea industriei constructoare de mașini unelte 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: "Producția marfă industrială urmează să crească în 1990, față de 1985, cu 34-37 la sută, într-un ritm mediu anual de circa 6-6,5 la sută. Ritmuri medii anuale de creștere mai mari sînt prevăzute pentru industria construcțiilor de mașini, de 7-7,5 la sută" ceea ce substituie încă odată rolul hotărîtor pe care trebuie să îl joace în continuare, aceasta în cadrul producției materiale din țara noastră.

În aceste condiții se impune ca /1/, cercetarea științifică să contribuie la accelerarea procesului de automatizare, electronizare și robotizare a producției, asigurînd astfel ca progresul tehnic să dețină principala pondere în creșterea productivității muncii.

Cercetările efectuate în țara noastră, în acest context, în domeniul construcției de mașini-unelte, au dus la realizări importante pe linia automatizării și diversificării acestora, în așa fel încît s-au putut asigura cerințele reclamate de economia noastră internă cît și crearea de disponibilități pentru export. Proiectarea și realizarea de mașini-unelte, cu comenzi numerice, cu comenzi adaptive, în concepție proprie a specialiștilor din țara noastră, au creat premisele realizării și introducerii în producția materială a sistemelor flexibile de fabricație /10/, care reprezintă un pas important pe linia înnoirii și dezvoltării industriei constructoare de mașini-unelte.

O preocupare majoră a ultimilor ani, pe linia automatizării mașinilor-unelte, o constituie reducerea costurilor de fabricație, adică aceste costuri specifice de producție pot fi realizate ca minime între altele și prin controlul și reglajul automat al parametrilor regimului de lucru pentru mașini-unelte astfel concepute. Nevoia automatizării mașinilor-unelte, în primul rînd cu comenzi numerice, precum și a stabilirii automate a regimului de lucru s-a născut tocmai datorită faptului că în procesul de așchiere sistemul tehnologic elastic este influențat

atît de parametrii reglați (cunoscuți deci) din procesul de aşchiere cît și de perturbațiile aleatoare datorate variației calității materialului semifabricatului, apariției uzurii sculei, adaosului de prelucrare, vibrațiilor și deformațiilor elastice ale sistemului, etc.

În aceste condiții realizarea unui proces de aşchiere optim, cu luarea în considerare a manifestării perturbațiilor aleatoare, constituie o problemă de optimizare rezolvabilă numai prin comanda adaptivă (CA), care devine de fapt unul din cele mai avansate nivele de automatizare în domeniul regimurilor de lucru, practicate la mașini-unelte în toate țările cu tradiții industriale.

1.2. Aprecieri privind rolul comenzii adaptive la mașini-unelte

Introducerea în industria constructoare de mașini-unelte a sistemelor flexibile de fabricație, antrenează modificări constructive și structurale ale eforturilor unităților care se decontează în acest mod și se reflectă în schimbări majore ale efectelor economice ale proceselor productive.

Și la noi în țară sînt cunoscute /10/, preocupări și realizări în aceste direcții, însă așa cum se afirmă, problema se pare a nu fi soluționată complet tocmai datorită absenței din sistemul flexibil de fabricație a mașinilor-unelte capabile să satisfacă cerințele impuse de un astfel de sistem de fabricație.

În lucrările prezentate /10/, autorii consideră pe bună dreptate ca o cerință acută a fabricației pieselor, scurtarea timpilor de prelucrare și cum posibilitatea de a reduce în mod substanțial timpul activi este mică, s-a urmărit a micșora timpul tehnologic neproductiv (de așteptare, stocare, reglare, verificare). Soluția aleasă este incompletă deoarece costuri minime de producție sau capacitate maximă de producție se poate obține numai în condițiile în care în procesul de aşchiere se deține controlul permanent automat al procesului de lucru prin parametrii săi determinați.

De aici concluzia că din concepția unui sistem flexibil de fabricație nu pot lipsi mașinile-unelte cu performanțele cele mai ridicate cunoscute pînă acum, adică în primul rînd mașinile-unelte cu comenzi numerice și comenzi adaptive, care satisfac cel mai bine oricare din cele două criterii ale optimizării, pentru că ele

însele sînt concepute a controla și optimiza în permanentă procesul de așchiere. In acest sens, exemplul de sistem flexibil de fabricație al firmei Pfauter /11/, pentru cazul danturării cu freză melc a roților dințate cilindrice întrunește aproape toate cerințele unui sistem flexibil de fabricație fiind prevăzut cu posibilitatea de trecere automată de la o piesă la alta cu caracteristici diferite, inclusiv în ceea ce privește sistemul de alimentare, transport, evacuare și control al pieselor. Mașinile unelte din componerea acestui sistem sînt de tip CNC-CA, dar construcția sistemului de comandă adaptivă (CA), este lipsită de posibilitatea stabilirii parametrilor de lucru, luînd în considerare criteriul uzurii sculei, pentru mașinile-unelte care utilizează scule cu bășuri prelucrate.

In cadrul colectivului de mașini-unelte din catedra TCM, Facultatea de Mecanică, există preocupări și realizări importante în direcția proiectării și realizării de mașini-unelte cu comandă adaptivă (CA), preocupări marcate în urmă cu peste 20 de ani de către Prof.dr.ing. Dodon Eugen, de altfel primul care a realizat în țară un sistem de CA la mașini-unelte, cu prioritate pe plan mondial în ceea ce privește controlul în CA al forțelor de așchiere.

Sistemele de CA, concepute și realizate pe baza unor contracte de cercetare cu întreprinderi din țară, pentru strunguri, mașini de cojit bare mici, mașini de danturat cu freză melc cilindrică, mașini de rectificat rotund exterior, mașini de frezat univernale, mașini de găurit ca și centre de prelucrare, au însemnat fiecare în parte o evoluție a SCA și mai ales a strategiei de optimizare însăși.

Așa de exemplu la centrele de prelucrare /3/, /5/, s-au introdus în construcția acestora părți ale CA care realizează în mod automat protecția sculei și indică starea de uzură a acesteia pe baza prelucrării semnalului din elementele și tractoarele specifice construcției CA. Sistemele complete de CA realizează implicit și protecția sculei și a mașinii-unelte (ca la mașinile de danturat roți dințate cilindrice cu freză melc, mașini de găurit și centre de prelucrare) care în cazul prelucrării semnalului de referință pot da informații chiar și asupra stării de uzură a sculei.

În condițiile proiectării și introducerii în fabricație a mașinilor-unelte cu SCA pentru avans și viteză, este de dorit să se poată elabora strategia de optimizare în așa fel încât să ofere creșterea durabilității sculei și a preciziei de prelucrare a piesei tocmai prin cunoașterea legilor apariției și dezvoltării uzurii sculei pentru astfel de sisteme.

1.3. Probleme specifice ale introducerii sistemelor de comandă adaptivă pentru mașini de danturat cu freză melc cilindrică, roți dințate cilindrice

În activitatea de cercetare în domeniul MU, de unidirecțională în principal prin întreaga preocupare, scăderea costului operației pe MU, pe calea creșterii eficienței procesului de așchiere și în condițiile ridicării preciziei de prelucrare, prin utilizarea tehnicilor de optimizare a proceselor tehnologice.

În principal, această activitate înseamnă obținerea unei combinații corespunzătoare între avansul tehnologic s (în mm/rot) viteza de așchiere v (în m/min), și adâncimea de așchiere t (în mm). În cazul danturării se impune luarea în considerare și a mărimilor specifice procesului respectiv cum ar fi: modulul frezei melc, numărul de dinți ai roții de prelucrat, diametrul frezei melc, calitatea materialului de prelucrat, etc.

Comanda adaptivă a avansului la mașinile de danturat cu freză melc /12/, realizată de colectivul de mașini-unelte al catedrei de T.C.M. și aplicată la I.M.Cugir, soluționează aceste probleme oferind automat fără nicio programare anterioară, costisitoare, un regim instalat permanent, luând în considerare o parte însemnată a factorilor din procesul de așchiere.

Cu toate avantajele unanim recunoscute, comanda adaptivă a mașinilor de danturat cu freză melc cilindrică, mai ridică multe probleme. În acest context, în condițiile în care între I.E. Cugir și colectivul de mașini-unelte din catedra de T.C.M. s-a stabilit un contract nou privind realizarea unei mașini de danturat cu SCA a vitezei și a avansului, modelul cu SCA a avansului fiind deja asimilat în fabricație, se impune în mod stringent soluționarea problemelor specifice unui astfel de SCA.

Stabilirea strategiei de optimizare, cu respectarea criteriului costului minim al operației, elaborată și aplicată la mași

na de danturat FD400-13CA1, are la bază drept mărime de referință forțele tangențiale de așchiere, controlate prin măsurarea puterii de așchiere și drept mărime de execuție avansul care este reglat în mod continuu. Alegerea acestor măriri de referință și execuție s-a făcut tocmai plecând de la faptul că literatura de specialitate, practica tehnologică nu oferă decât puține relații despre procesul de așchiere la danturare. Așa de exemplu, pentru forțele de așchiere, puterea de așchiere și viteza de așchiere calculul clasic nici pe departe nu exprimă și nu caracterizează aspectul cu totul aparte al fenomenelor la danturare.

Prin SCA se impune să se instaleze diferite regimuri de așchiere, pentru date diferite și reale în procesul de așchiere, dar care să satisfacă neapărat criteriul durabilității maxime deci al uzurii minime al sculei. Acest deziderat al uzurii minime al frezei melc cilindrice condiționează și precizia la danturare. Referitor la acest aspect al uzurii literatura de specialitate /2/, /4/, /6/, /7/, /8/, /9/, nu prezintă soluții pentru obținerea preciziei maxime și nici soluții de instalare automată la cotă a sculei. Literatura de specialitate /9/, prezintă așa zisul "control activ la prelucrarea roților dințate", impropriu denumit deoarece așa cum precizează și autorul în toate cazurile el este postoperațional.

Procedeul danturării prin rostogolire cu freză melc cilindrică, la mașinile de danturat roți dințate cilindrice, impune prin reglajul mașinii realizarea unei distanțe între axele sculei și semifabricat. Generarea profilului roții în mod nu permite corecția poziției sculei, în consecință pentru cazul acestei mașini se poate soluționa problema preciziei piesei cel mai economic și științific prin controlul dezvoltării uzurii sculei precizat prin însăși strategia de optimizare a SCA.

La danturarea cu freză melc cilindrică pentru SCA al avansului avem un regim tranzitoriu complex cu variații la intrare și ieșire a lungimii așchiiilor detașate. În condițiile aplicării unui SCA și pentru viteză se impune a se ști legătura între variația vitezei (v), și uzura sculei în condițiile respectării preciziei la prelucrarea roților dințate cilindrice.

În aceste condiții cercetarea cerută prin tema de doctorat a urmărit obiective și direcții din acest domeniu, res-

pectiv:

- stabilirea legăturii între datele din proces (v,s,t) pentru material dat și evoluția uzurii sculei în condițiile SCA a avansului existent pe mașina produsă de I.M.Cugir;

- studiul influenței variației vitezei de aşchiere asupra uzurii sculei, în regim tranzitoriu pentru SCA a avansului existent pe mașina de danturat roți dantate cilindrice;

- studiul influenței variației vitezei de aşchiere pentru SCA a avansului existent asupra preciziei piesei la danturare;

- stabilirea relațiilor de calcul pentru viteza de aşchiere în diversele cazuri de danturare pe mașina de danturat cu SCA a avansului produsă în prezent.

În condițiile prezentate, privind problemele existente cu cele de soluționat la SCA a mașinilor de danturat prezenta teză de doctorat se dorește a fi o contribuție modestă, în scopul stabilirii bazei tehnologice pentru instalarea prin SCA și a vitezei de aşchiere. Viteza de aşchiere evident variabilă în mod permanent impune clarificarea fenomenologică și stabilirea de modele matematice necesare strategiei de optimizare a SCA. Această situație este explicabilă dat fiind însăși noutatea SCA a avansului și inclusiv a modului său de instalare a avansului, care reprezintă prin specificul procedurii de danturare cu freză melc cilindrică o serie de rezolvări specifice.

Autorul aduce mulțumiri și dă o mare considerație conducătorului științific Prof.dr.ing.Dodon Eugen, om de mare cultură și profundă cunoaștere a problemelor cercetării științifice, pentru dăruirea și răbdarea de care a dat dovadă în îndrumarea permanentă pentru desfășurarea cercetării de doctorat.

Cele mai deosebite mulțumiri colegilor de catedră pentru sprijinul acordat în permanență, de asemenea colectivului de oameni ai muncii de la I.M.Cugir, pentru sprijinul permanent acordat la desfășurarea activității de cercetare și experimentare a soluțiilor propuse și aplicarea acestora în producție.

2. CICLURILE, CONDIȚIILE ȘI CRITERIILE REGIMURILOR DE AȘCHIERE

2.1. Cazurile tehnologice posibile de instalat

În general felul operațiilor la MDPMC, este cunoscut, /24/ dar în scopul identificării mai ușoare a particularităților la danturarea cu PMC și în mod deosebit pe MDPMC cu CA, se impune o resistemizare a acestora din punctul de vedere al CA.

1. Cazurile cu una trecere de danturare, pentru care se va adopta denumirea de "Tip 1", sînt utilizate pentru roți care urmează a fi tratate termic, șeveruite, rectificat sau finisate în alt mod și la care deci calitatea suprafeței, în limitele parametrilor MDPMC, nu are importanță. Mai precis, s-a calculat /18/ că la avansul maxim pe care îl realizează de obicei MDPMC și evident în intervalul de module danturabile pe diversele modele, înălțimea maximă a microundelor se află în limitele adaosurilor de prelucrare pentru operațiile de finisare menționate și care urmează după danturare.

Tinînd seama de dimensiunile variabile ale așchiilor, în regimul tranzitoriu, se vor putea instala prin CA, avansuri variabile conforme cu strategia de comandă, pe unica trecere prevăzută.

2. Cazurile cu o trecere de degroșare și o trecere de finisare pe toată lungimea piesei se vor denumi cazuri tehnologice de "Tip 2". Încălcarea mașinii și deci deformațiile STE sînt practic neglijabile pentru trecerea de finisare la care adaosurile sînt de ordinul zecimilor de mm. Demersul la trecerea de finisare piesa trebuie să obțină clasa de precizie finală și cum se presupune că ea nu mai este supusă ulterior nici unei operații, acest tip de caz tehnologic este mai rar utilizat.

În timpul trecerii de finisare avansul trebuie să fie constant, ca valoare maximă admisibilă din punct de vedere al calității suprafeței, ce se va stabili pe baza criteriului calității suprafeței piesei și preciziei profilului de realizat.

3. Cazurile cu o singură trecere și din care trebuie să rezulte roata dințată cu o anumită precizie sau calitate a suprafeței, impuse prin condițiile tehnice ale operației țîră a mai fi prelucrată ulterior, se vor denumi cazurile tehnologice de "Tip 1F".

La acest caz avansul poate fi condus prin CA (deci variabil) numai în prima parte pînă cînd scula a ajuns la adîncimea

care dă înălțimea dintelui după care trebuie să fie constant pentru a asigura rugozitatea suprafeței prelucrate și precizia geometrică a piesei.

4. Cazurile tehnologice cu avans tangențial, pentru dantura reea roților melcate, care nu mai urmează a fi finisate și care obișnuit nici nu se rectifică, rezultând și calitatea necesară a suprafețelor și precizia profilului cerut. Acest caz tehnologic se va denumi "Tip TRM". Numărul de treceri este una (de regulă) dar nu se exclude posibilitatea instalării unei duble sau chiar triple rotiri a mesei rotative cu piesa, respectiv realizarea a două sau trei treceri. Din punctul de vedere al CA pentru a doua sau și a treia trecere instalarea avansului are o importanță mai redusă fiind dictată numai de calitatea suprafeței și precizia piesei. Avansul poate fi maxim la prima trecere, deci comandat de CA, deoarece STE permite încă sarcini mărite în timpul respectiv.

Se știe că prin continuarea mișcării piesei cu una pînă la două rotații în plus (după realizarea adîncimii dintelui) urmînd o curățire a dinților roții melcate se realizează de fapt finisarea acesteia. Aceste rotiri suplimentare, nu reclamă schimbări ale mărimei avansului prin CA, în schimb alta este situația față de viteza de așchiere, respectiv n_{Ap} , care evident trebuie să se realizeze cu viteze diferite corespunzătoare finisării.

5. Cazurile tehnologice de danturare a roților melcate cu avans radial se vor denumi de "Tip RRM". Un astfel de caz tehnologic oferă un specific pentru CA, în ceea ce privește instalarea avansului radial. La începutul pătrunderii avansul poate fi mare, sarcinile suportate de STE sînt deci mai mari. Rotirea finală a mesei cu piesa este de "curățire" prin care se îndepărtează de fapt deformațiile STE copiate (imprimare) pe piesă. Deci nu se mai execută avans adică CA pentru acest parametru nu are obiect, dar este necesar ca sistemul de CA să aibă în vedere comanda vitezei, adică n_{Ap} . Se pune în evidență necesitatea CA a vitezei de așchiere.

6. Cazul tehnologic cu trei treceri, /11/, /29/, avînd distincte operațiile de degroșare și semidegroșare, apoi cu saufără o finisare, deci cu o a treia trecere. În acest caz avansul este stabilit de către CA, pe baza unor condiții de încărcare a STE la fiecare trecere, turația n_{Ap} a regimului instalat va fi variabilă și este diferită față de cea la trecerea de finisare.

În general acest caz tehnologic se aplică la piese cu module mari, de danturat pe MDFMC relativ mai mici, și se va denumi de "Tip 2D1F".

2.1.1. Considerații privind instalarea pe MDFMC cu CA a acestor cazuri tehnologice

Soluțiile de rezolvare a cazurilor concrete de instalare a CA pe MDFMC, sînt indisolubil legate de felul cazului în cauză reclamat de condiții tehnice de execuție pentru roțile dintate.

Astfel la cazul tehnologic "Tip 1", odată cu avansul s_r , este necesară și o reglare a turației n_{AP} . După cum s-a constatat /18/, din măsurătorile puterii consumate la mașina cu CA pentru avans, pe prima porțiune a intrării cît și pe cea finală, a ieșirii din așchiere a FMC, încărcarea este sub valoarea de referință, chiar la s_{rmax} dat de mașină. În aceste condiții se va dispune de putere și totodată deci de o rezervă a durabilității sculei (a uzurii) și deci n_{AP} (adică v) va putea crește sensibil lucru care de altfel a fost și cercetat în prezenta teză. Cu alte cuvinte în acest caz pentru o mașină cu CA a avansului (existentă) va trebui să vedem care sînt condițiile instalării și a unei viteze variabile (n_{AP}), în contextul apariției și dezvoltării uzurii frezel melc.

Pentru cazul de "Tip 1F", condițiile concrete pentru s_r , vor fi cele de "Tip 1", iar pentru finisare n_{AP} nu va fi schimbabil prin masa săniei axiale, dar va trebui să aibă totuși un mod de stabilire a vitezei și care mod este foarte puțin clarificat în literatura de specialitate /5/, /6/, /18/, /20/, și practic de loc pentru MDFMC. De aici și una din necesitățile științifice a cercetărilor din prezenta teză de doctorat.

La cazurile "TRM" trebuie să se regleze prin CA într-un anumit mod un avans tangențial, prin urmare și n_{AP} , dar în faza de "curățire" a piesei cu rotații suplimentare va fi iarăși necesară o mărire a n_{AP} respectiv o altă viteză de așchiere. Această problemă apare în literatura de specialitate fără date realiste și suficiente din procesul de așchiere, practic fără nici o modelare matematică.

De asemenea, necesitatea variației n_{AP} (adică a vitezei) este analoagă la cazurile "RRM" dar cu mărimi și valori în procesul de așchiere evident diferite. De asemenea, în perioada pă-

trunderii sculei se impune o altă rezolvare pentru variația lui s_r și n_{AP} .

La cazurile "Tip 2D1F", variația lui s_r și n_{AP} , sînt "totale" la prima trecere, mult mai reduse la a doua (ca logică generală), iar pentru finisare trebuie stabilite mărimile (s_r) ce se mențin practic constante, mărimi pentru care în ceea ce privește n_{AP} , iarăși nu sînt informații privind situațiile reale în procesul de așchiere. De altfel, nici pentru a doua trecere și nici pentru prima (cu adîncime parțială) nu există date corepunzătoare pentru forțe, momente, puteri în vederea stabilirii avansului și vitezei de așchiere respectiv n_{AP} .

Din cele prezentate mai sus, rezultă o necesitate stringentă a cunoașterii comportării MDFMC cu CA, (a avansului instalat în cazul nostru) cît și a datelor de interferență între marimile instalate în proces (s_r , v , t) și evoluția uzurii FMC, deci a durabilității acestora, pentru a se stabili baze științifice la determinarea vitezei de așchiere.

2.1.2. Ciclurile mișcărilor

Din punct de vedere al generării danturii /22/, /23/, /25/ definirea procedurii de prelucrare trebuie să precizeze în principal:

- tipul sculei pe care s-a transpus cremaliera generatoare;
- mișcările absolute ale sculei și ale piesei, care să ducă la realizarea traiectoriilor relative rezultate cu rotoșolire fără alunecare (dintre cercul și dreapta de divizare) la prelucrarea tuturor dinților.

Dacă se iau în considerare, mișcările absolute, /8/, /25/, ale verigilor executante (VE), respectiv ale bazei (piesei) și ale rulantei (sculă), atunci se știe că se obțin două posibilități de generare a profilului în evolventă și anume:

a. generarea cu dreaptă mobilă, figura 2.1., la care cercul de divizare (baza = piesă) cu centrul fix execută numai mișcarea de rotație ω_B , iar rulanta (dreapta de divizare-sculă) se deplasează liniar cu viteza $V_R = \omega_B \cdot R_O$. Acest principiu stă la baza procedurii danturării cu FMC. Contactul dintre flancul melcului sculei și cel al dintelui de prelucrat fiind teoretic punctiform, pentru prelucrarea întregului flanc al dintelui piesei, este necesar ca freza melc, să primească o mișcare relativă față de piesă,

mişcare prin care să urmărească flancul dinților (mişcarea de avans axial). Ca urmare a acestui fapt, un punct de pe flancul din-

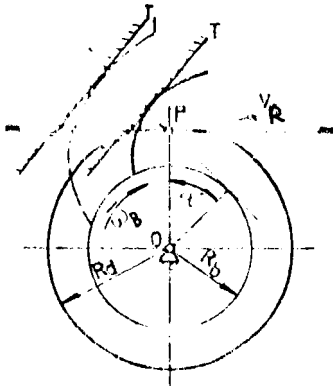


Fig.2.1. Generarea profilului, cu dreaptă mobilă

ului este un punct care descrie o elice cu pasul constant, iar după o rotație a piesei, FMC va produce zona din vecinătatea altui punct, decalat față de primul cu o mărime egală cu avansul. Mulțimea acestor puncte aflate pe o dreaptă care se sprijină pe profilul dintelui determină linia flancului dintelui. Cu cât numărul lor este mai mare, deci cu cât avansul este mai mic, cu atât ea se apropie mai mult de linia flancului teoretic, iar calitatea (ondulațiile) suprafeței va fi mai bună.

b. generarea cu dreaptă fixă, unde cercul de divizare se roteste cu ω_B , iar dreapta de divizare este fixă.

Fuind în considerare sensurile vitezei de aşchiere și vitezei de avans pentru generarea de mai sus (sau proiecțiile lor pe o direcție ce poate coincide cu direcția uneia din ele) prelucrarea poate fi făcută prin una din cele două metode generale următoare:

- în sensul avansului (SAV), cele două sensuri coincid;
- în contra avansului (CAV), cele două sensuri sînt opuse.

Pentru unele cazuri de condiții de aşchiere prelucrată în SAV, /25/, se susține că este mai avantajoasă (durabilitatea mai mare a sculei, precizia mai mare a danturii, etc.), de aceea cele mai multe MDFMC, lucrează în prezent încă după această metodă.

Evoluțiile și cercetările din ultimul timp /4/, /11/, /29/, după cum se va confirma și în cadrul lucrărilor din prezenta teză, duc însă la concluzii contrare.

Pentru pătrunderea la adîncimea dintelui, după cum se știe procedoul și MDFMC dispun de avansul radial. Modul cum acesta se parcurge depinde de cazurile tehnologice expuse mai sus. Adică adîncimea se parcurge integral la cazurile tehnologice 1, 1F și RRM și în porțiuni (prima mai mare și cele de finisare mai mici) în celelalte cazuri tehnologice.

Pentru distribuția uzurii sculei uniform pe tăișul FMC,

(conform celor cunoscute), MDFMC pentru uz mai general, dispun și de un avans axial la sculă, denumit de fapt "avans tangențial", conținând regulii de precizare în raport cu piesa.

Ținând deci cont de cazurile tehnologice posibile, precizate mai sus, de metodele frezării și de modul de utilizare a celor trei avansuri (axial, radial, tangențial) în funcție de modul în care acestea se combină, în deosebi în perioada pătrunderii în piesă, se vor distinge ceea ce denumim "ciclurile tehnologice" sau ciclurile de lucru prezentate în cele ce urmează. Aceste cicluri tehnologice dovedesc în bună parte o influență sensibilă asupra urmării sculei deosebi și asupra reglajurilor de lucru, respectiv asupra preciziei piesei.

2.1.3. Ciclurile tehnologice

Ținând de la datele prezentate în literatura de specialitate /4/, /23/, /25/, /27/, referitor la diversele moduri de instalare a ciclurilor de lucru la MDFMC, se impune o resistemizare a acestora. Acest lucru este posibil pe baza celor prezentate în paragrafele 2.1., 2.1.2. În scopul stabilirii științifice a bazelor tehnologice a construcției MDFMC și cu CA a vitezei de aşchiere (n_{AP}) se vor formula în cele ce urmează ciclurile tehnologice (CT) prin suprapunerea ciclului mișcărilor cu fiecare caz tehnologic în parte.

Astfel, se impune în formularea CT să se aibă în vedere modul cum se va realiza pătrunderea: cu avans axial (s_a) sau cu avans radial (s_r). Bineînțeles, considerându-se și cazul ciclului de lucru cu avans tangențial (s_t), de asemenea pentru oricare dintre avansuri se va avea în vedere metoda de frezare, adică în SAV sau în CAV.

A. I. Ciclul tehnologic fără avans tangențial

A. I.a. Ciclul tehnologic cu pătrundere axială

Modul cum se va instala acest ciclu de lucru cu pătrundere axială este prezentat în figura 2.2., fiind precizate datele legate de instalarea sculei față de piesă precum și ciclul mișcărilor.

În condițiile aplicării ciclului mișcărilor cu pătrundere axială (PAX) pentru cazurile tehnologice Tip 1, Tip 2, Tip 1F, Tip 2D1F, vor rezulta următoarele cicluri tehnologice: a. CTPAX Tip 1; b. CTPAX Tip 2; c. CTPAX Tip 1F; d. CTPAX Tip 2D1F.

a! În cazul aplicării metodei de danturare în SAV, pentru

oricare din CT (a,b,c,d), aşchiera se produce ca de exemplu în figura 2.3., pentru cazul MDFMC fără CA (cu $s_a = \text{constant}$), res-

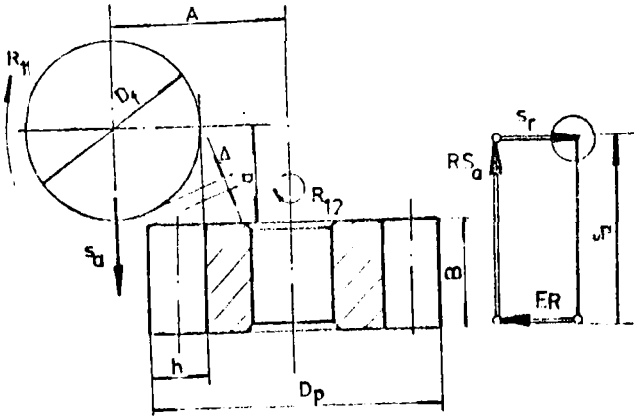


Fig.2.2. Ciclul cu pătrundere axială

pectiv convenţionale, adică cu variaţii dimensionale ale aşchilor de la valori mici spre mari şi apoi după atingerea adîncimii nominale h a dintelui, aşchile să înceapă să scadă dimensional.

Pentru cazul MDFMC cu CA a avansului (existentă), figura 2,4., aşchiera se produce cu avans variabil şi anume pentru perioada de apropiere de piesă şi aşchiere de început CA instalează s_{amax} , care pe măsură ce PMC avansează (în sensul s_a) scade spre s_{aref} , după care în zonele de ieşire din semifabricat să crească spre s_{amax} . Pentru acest CT, condiţiile de aşchiere pen-

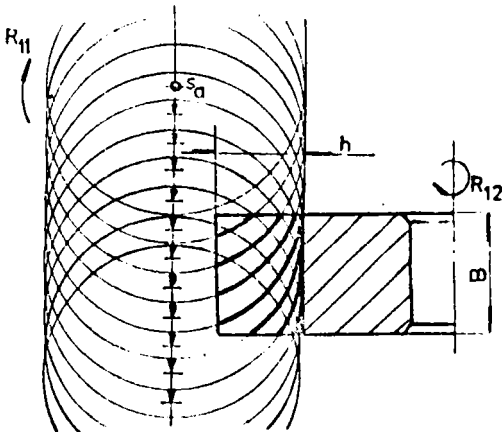


Fig.2.3. CT în SAV cu PAX,
MDFMC) fără CA

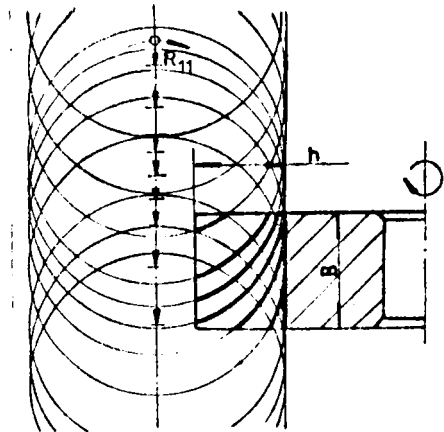


Fig.2.4. CT în SAV cu PAX,
MDFMC cu CA

tru sculă din punctul de vedere al dimensiunilor așchiilor și al răcirii pe perioada de pătrundere și ieșire, sînt diferite față de cazul de la MDFMC fără CA. În condițiile danturării pe MDFMC cu CA a avansului, acesta este reglabil numai pentru ciclurile tehnologice CT Pax Tip 1, iar pentru CT în combinație cu cazurile tehnologice Tip 2, Tip 2DIF, numai pentru trecerile de degroșare. De aici, rezultă nevoia lămuririi și modelării matematice pentru viteza de așchiere (v_{AP}) de asemenea, pentru CT care au și o trecere de finisare (c,d), pentru care caz nu sînt nici un fel de relații de calcul a vitezei economice: De altfel, nici referitor la relațiile de calcul pentru forțe, momente și puteri la pătrundere și ieșire, nu sînt date suficiente, mai ales în condițiile în care toate acestea ar trebui de fapt modelate matematic, funcție de durabilitatea sculei, adică de uzura FMC. Expresiile de calcul cunoscute pînă acum pentru v_{ec} , F , M_t și P sînt numai pentru cazul danturării în plin, adică la "h" dinte. Dar pentru intrarea și ieșirea FMC din așchiere, mai ales în condițiile stringente ale necesității menținerii preciziei la danturare pentru cît mai multe piese (deci uzură minimă), nu se cunosc numeana modelări matematice ale procesului de așchiere cu FMC.

a." În cazul aplicării CT Pax, în CAV, modul cum decurge așchirea este prezentat de exemplu în figura 2.5, pentru cazul MDFMC fără CA. După cum se vede și în acest caz avem o variație a dimensiunii așchiilor de la minim spre maxim și apoi la ieșirea din dan-

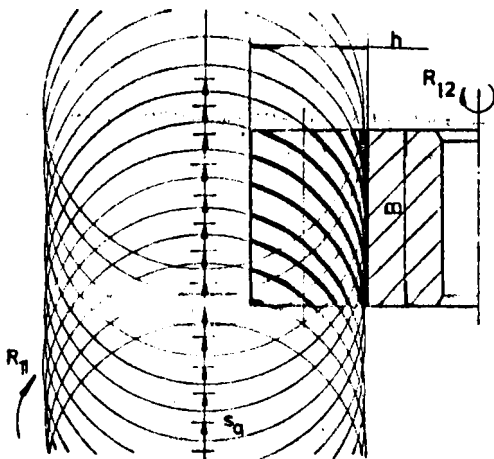


Fig.2.5. CT în CAV cu Pax, MDFMC fără CA

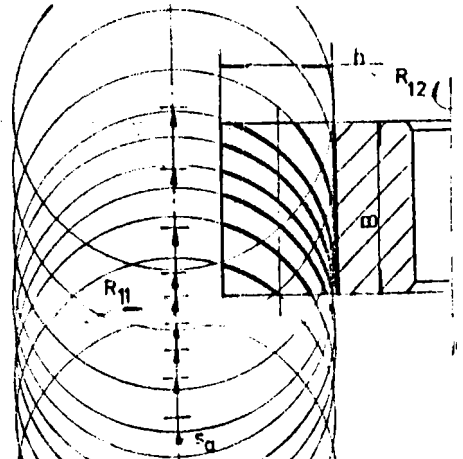


Fig.2.6. CT în CAV cu Pax, MDFMC cu CA

turare spre minim, dar cu altă geometrie a așchiilor. Caracteristic la acest CT, este modul cum atacă FE piesa, mod care are implicații asupra evoluției uzurii sculei, deci a durabilității FMC și preciziei la danturare.

Condițiile producerii așchierii pentru cazul MDFMC cu CA a avansului, sînt prezentate în figura 2.6., unde după cum se vede CA va instala s_a variabil, dar cu alte valori chiar și pentru v_{ag} (n_{AP}) decît cele de la CT în SAV.

Se impune de asemenea pentru acest CT, verificarea ipotezelor conform cărora la danturarea în CAV, se obține o îmbunătățire a preciziei și durabilității sculei, deci o reducere a uzurii FMC

A.I.b. Ciclul tehnologic cu pătrundere radială

În condițiile aplicării ciclului mișcărilor cu avans radial (s_r), figura 2.7., pînă la adîncimea nominală h a dintelui, după care înălțimea flancului dintelui B, se va realiza cu avans axial - s_a , pentru cazurile tehnologice prezentate în paragraful 2.1., se obțin următoarele cicluri tehnologice (CT): a. CT PRA Tip 1; b. CT PRA Tip 2; c. CT PRA Tip 1F; d. CT PRA Tip 2DF.

Pentru acest CT condițiile așchierii și deci formele așchiilor sînt de asemenea diferite, așa cum se vede și în figura 2.7.

Pe perioada AR, FMC nu este angajată în așchiere, ea ajunge la

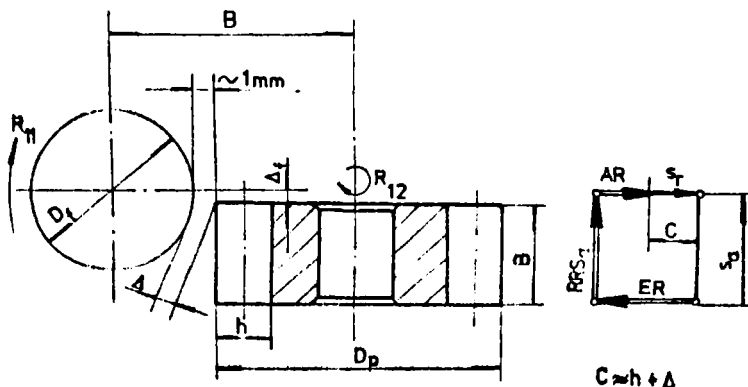


Fig.2.7. Ciclul cu pătrundere radială

o angajare maximă, la epuizarea pătrunderii în adîncime cu s_r , după care se cuplează s_a și de aici așchieria este asemeni CT A1a. Si pentru acest CT se pot analiza aspectele specifice pentru cele două metode ale danturării în SAV și în CAV.

b.' In cazul danturării în SAV, figura 2.8., pentru toate cazurile tehnologice (a,b,c,d,), aşchierea se produce de asemenea cu variaţii ale dimensiunii aşchilor, de la valori mici spre maxime pînă la sarcina nominală (h - dinte), după care spre ieşire aceasta să scadă la valori minime.

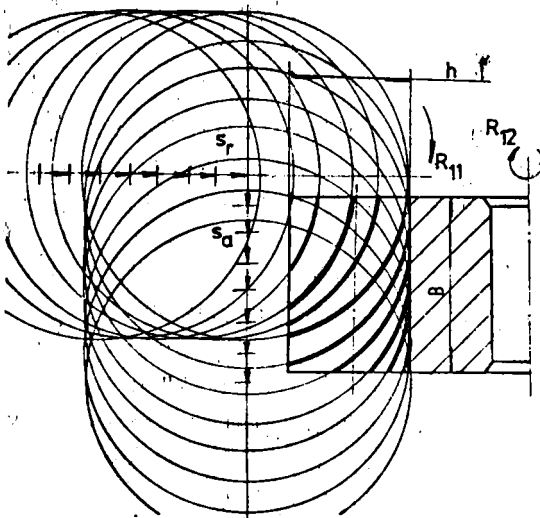


Fig.2.8. CT în SAV cu PRA, MDFMC fără CA

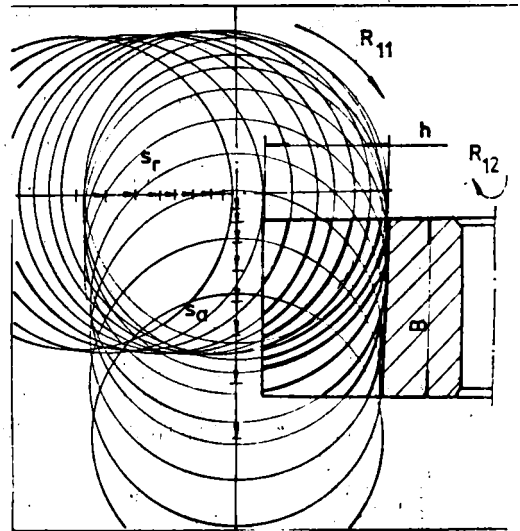


Fig.2.9. CT în SAV cu PRA, MDFMC cu CA

Pentru cazul MDFMC cu CA a avansului, figura 2.9., acesta este reglabil atât la pătrunderea FMC cu s_r , cât și apoi pentru pătrunderea cu s_a (asemenea CT A.I a), dar cu altă geometrie a aşchilor la pătrunderea cu s_r de la s_{rmax} la s_{rref} . Deosebirile se datoresc mai ales faptului că CA a avansului va instala un s_a , când FMC a ajuns la cota h și deci sînt deja aşchii de o anumită dimensiune care vor reclama pentru o perioadă scurtă un alt s_a comandat de CA, pînă se trece la o geometrie identică a aşchilor ca în cazul A.Ia pentru ieşire.

Desigur, și în aceste CT sînt probleme neclarificate privind cazul CA și pentru viteză, dar mai ales pentru finisare ca și la cazul A.I.a.

Deosebirile evidente privind modul și timpul cînd lucrează CA a avansului în aceste CT, au influențe și asupra durabilității sculei, a uzurii FMC, deci și asupra preciziei la danturare.

b.". Deosebiri esențiale și cu influențe necunoscute privind valorile lui s_r , s_a , $v_{a\dot{s}}$ (n_{AP}) sînt prezentate pentru cazul

MDFMC fără CA, în CAV, în figura 2.10., și cu CA a avansului, în CAV, în figura 2.11. Si în acest caz condițiile de lucru ale sculei sînt deosebite de cazul A.I.a', tocmai pentru că avem pătrundere cu s_r variabil datorită CA a avansului, cînd datele problemei sînt complet schimbate.

Față de condițiile recunoscute ale variației dimensionale ale așchiei, (comandarea lui s_r și apoi a lui s_a prin CA), în plus în acest CT avem și un mod diferit de așezare a sculei, mai ales în momentul cînd FMC a ajuns la sarcina nominală (h) și cînd trebuie să se comande pe o perioadă scurtă prin CA un s_a intermediar cazului A.I.a", din figura 2.6.

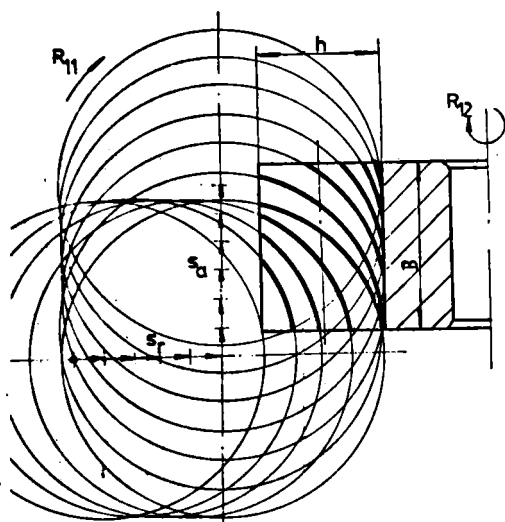


Fig.2.10. CT în CAV cu PRA, MDFMC fără CA

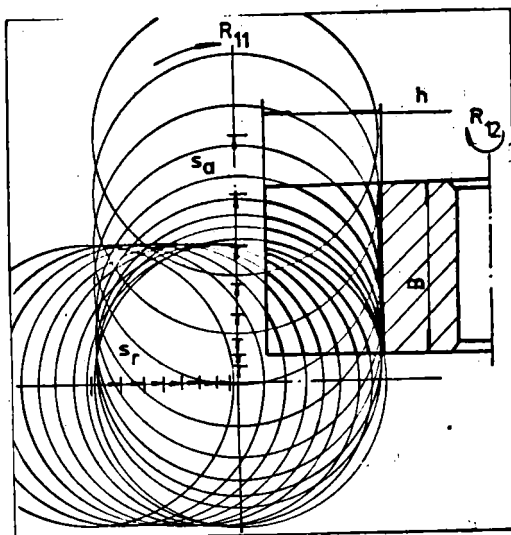


Fig.2.11. CT în CAV cu PRA, MDFMC cu CA

Complexitatea fenomenelor, specifice procesului de așchiere la danturare, mai ales în direcția producerii uzurii FMC și legat de aceasta nevoia instalării a unei $v_{aș}$ reale (prin CA) impune o cercetare atentă și complexă a acestor aspecte.

A.II. Ciclul tehnologic cu avans tangențial

Acest ciclu de lucru, figura 2.12., poate fi aplicat la oricare din cazurile tehnologice prezentate la punctul 2.1. După modul cum se va realiza pătrunderea și pentru acest CT avem două cazuri: A.II.a, ciclul diagonal cu pătrundere axială (fără s_r); A.II.b. ciclul diagonal-radial, adică cu pătrundere radială și înaintare cu s_a pe lungimea liniei dintelui. În ambele cazuri,

intăritarea sculei se realizează corecționării anului de pătrundere prezentat în figurile 2.2. și 2.7. De menționat că acest CT, se poate aplica numai la MDFMC, care au o construcție specială în

acest sens, respectiv dispun de v_{g-t} țial.

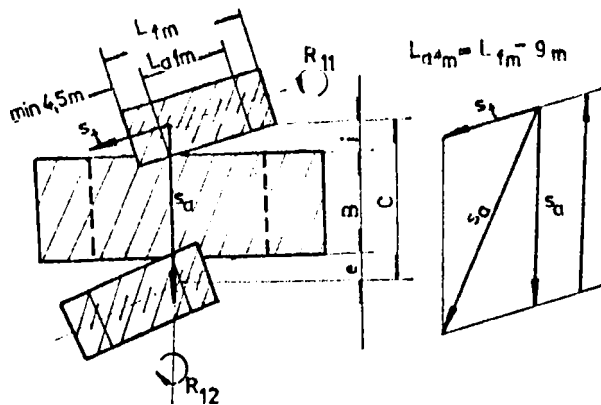


Fig.2.12. Ciclul cu pătrundere cu avans tangențial

În literatura de specialitate [4, /21/, /25/, /27/ se precizează că acest CT se aplică în scopul creșterii intervalului de schimbare a sculei (prin folosirea unei importante părți din lungimea sculei, L_{afm} și bine înțeles a preciziei piesei prelucrate.

Condițiile de lucru pentru FMC, în acest caz

sînt schimbate, variația dimensională a așchiilor este în mare aceeași ca la CT Tip A.I.a, A.I.b, dar cu dimensiuni totuși schimbate tocmai datorită avansului s_t . În același mod se pot pune și aici probleme privind stabilirea valorii lui s_r , s_a , v_{ag} prin CA a MDFMC, desigur cu un alt mod de manifestare a influenței acestora asupra evoluției uzurii FMC, deci a durabilității și preciziei piesei pentru fiecare caz tehnologic în parte.

Ciclul tehnologic cu avans tangențial are o extindere restrînsă chiar și pentru mașinile fără CA, datorită cheltuielilor de construcție mai ridicate. Pentru sistemele flexibile de fabricație unde prin modul de concepere a acestora, alta este situația privind exploatarea FMC în procesul danturării, se impune a se studia efectele economice ale prevederii introducerii MDFMC cu avans tangențial.

B. Ciclul tehnologic pentru roți melcate

542.747
361 G

Și acest ciclu, este cunoscut în două variante, după modul de realizare al pătrunderii, adică: B.I., ciclul tehnologic cu avans de pătrundere radial; B.II., ciclul tehnologic cu avans de pătrundere tangențial.

B.I. Ciclul tehnologic cu avans de pătrundere radială este prezentat în figura 2.13. ca mod de realizare a pătrunderii și a

ciclului mișcărilor. Acest ciclu denumit CTPRM, este mai puțin recomandat din punctul de vedere al preciziei de prelucrare, tocmai datorită faptului că pe durata deplasării piesei (cu valoarea h) se produce o rulare cu alunecare și se obține o evolventă deformată (alungită) a profilului dintelui. Metoda în schimb, este productivă. Aspecte caracteristice pentru acest CT sînt legate de instalarea lui s_r prin CA și mai ales de formularea corectă a relațiilor de calcul pentru faza de "curățire" a dinților, (fără avans), în cazul $v_{a\dot{s}}(n_{AP})$.

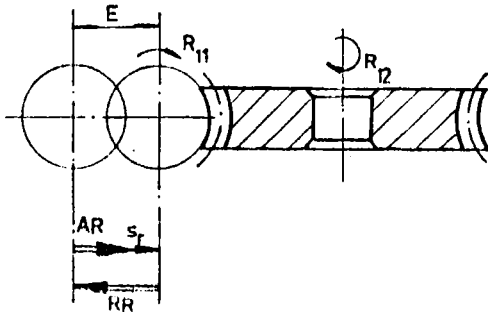


Fig. 2.13. CT pentru RM, pătrundere cu avans radial

B.II. Ciclul tehnologic cu avans tangențial, figura 2.14., care impune din punctul de vedere al pătrunderii o mișcare axială (s_t) pentru RM, este denumit CTPRM, conform cazului tehnologic TRM. Si pentru acest CT se pun probleme deosebite pentru soluționarea aspectelor legate de $v_{a\dot{s}}$ a sînt ...

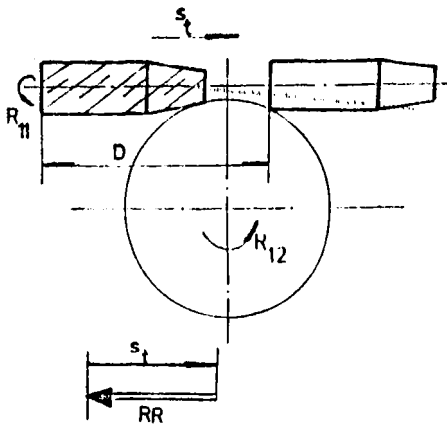


Fig. 2.14. CT pentru RM, pătrundere cu avans tangențial

... $v_{a\dot{s}}$ a sînt ... pătrunderii, cît și în cea a finisării (curățirii), respectiv a rotațiilor suplimentare ale mesei cu piena. În acest caz, problema avansului este legată mai mult de condițiile de calitate a suprafețelor prelucrate. În legătură cu cele de mai sus se poate preciza că în prezent pentru NDFMC Tip PD400-13CA1, nu se danturează roți melcate cu CA, pentru singurul motiv că în literatura de specialitate nu sînt cunoscute relații pentru determinarea mărimilor de referință, respectiv a M_t sau a P. În acest caz nu a fost posibilă, deci introducerea mărimii de referință pentru stabilirea încălzirii. În faza imediat următoare a evoluției CA, va

fi rezolvată și această situație, în funcție mai ales de evoluția MDM pentru celulele flexibile, fiind de vă spus-probabil și problema acestor determinări.

În scopul utilizării mai rapide a formulărilor ciclurilor tehnologice, în activitățile de proiectare tehnologică și cercetare în tabelul 2.1. se prezintă sinteza acestora.

Tabelul 2.1.

CICLUL TEHNOLOGIC	CAZUL TEHNOLOGIC
A.I. CICLUL TEHNOLOGIC FARA AVANS TANGENTIAL CTCs _t	Tip 1
A.I.a. Ciclul tehnologic cu pătrundere axială CTPax	Tip 2
a'. Ciclul tehnologic cu pătrundere axială în CAV. CTPax în CAV.	Tip 1F
a". Ciclul tehnologic cu pătrundere axială în CAV. CTPax în CAV.	Tip 2DIF
A.I.b. Ciclul tehnologic cu pătrundere radială	
<hr/>	
A.II. CICLUL TEHNOLOGIC CU AVANS TANGENTIAL CTCs _t	Tip 1
	Tip 2
A.II.a. Ciclul diagonal cu pătrundere axială CTDPax	Tip 1F
	Tip 2DIF
A.II.b. Ciclul diagonal-radial cu pătrundere radială. CTDPRa.	
<hr/>	
B. CICLUL TEHNOLOGIC (CICLUL) TOTI DEPLAȘATE CTPRM	
B.I. Ciclul tehnologic cu pătrundere radială. CTPRR.	Tip 1
B.II. Ciclul tehnologic cu pătrundere tangen- țială. CTPRM.	Tip 1

2.2. Despre criteriile de optimizare cu bază a CA pe EU

În orice sistem de prelucrare a materialelor prin aşchiere între parametrii de lucru, (v, s, t) și parametrii care determină calitatea prelucrării există o interdependență determinată teoretic și experimental în raport cu rezultatele obținute la prelucrarea piesei.

Principial se dorește a se obține, un cost redus, fie al

operației de degroșare cât și a celei de finisare și totodată o capacitate maximă de producție.

Prin urmare, datorită complexității condițiilor întâlnite în soluționarea operațiilor tehnologice și ținând cont de aspectele contradictorii și neclarificate, /18/, /19/, /20/, care apar în timpul desfășurării operației tehnologice de danturare, trebuie să constatăm că cele două cerințe menționate (cost și capacitate), nu pot fi satisfăcute în același timp. Din acest motiv problema generală a optimizării unei operații de prelucrare, constă în obținerea unui cost minim fie a unei capacități maxime de producție.

În literatura de specialitate /3/, /5/, /10/, /14/, /18/, /23/, în baza analizelor statistice, a relației lui Time-Taylor, pentru diverse costuri ale prelucrării, se stabilesc două criterii de prelucrare prin așchiere și anume:

a. Pentru o durabilitate dată a sculei, pentru a se crește capacitatea de producție este preferabil să se crească adâncimea de așchiere (t), în raport cu viteza de avans. Aceasta este necesar și pentru a reduce la minim numărul de treceri, reîntoarcerile în gol, în cazul danturării cu FMC.

b. Pentru o durabilitate dată a sculei așchietoare este mai avantajos să se crească viteza de avans în raport cu viteza de așchiere.

În aceste condiții, analiza și referirile făcute pentru cazuri concrete soluționate în cadrul colectivului de MU din catedra de T.C.M., și în literatura de specialitate /3/, /5/, /6/, /7/, /14/, /15/, /17/, /18/, /26/, pot oferi motivații suficiente ale dezvoltării cercetării și stabilirii drept criteriu unic al optimizării, costul minim al operației pentru durabilitate maximă, deci uzură minimă a sculei.

Astfel, în cazul găuririi există mai multe păreri, ale diverșilor autori /3/, /5/, /6/, care susțin fie criteriul capacității maxime de producție, fie al preciziei orificiului prelucrat. Soluțiile foarte bune de altfel, pentru strategia de optimizare, sînt însă lipsite de limita restrictivă cea mai tehnologică și nelămurită a durabilității sculei, durabilitate care cel mai bine se exprimă prin fenomenul apariției și dezvoltării uzurii sculei. De altfel, momentul de torsiune maxim sau forța axială maximă, ca mărime controlată (de referință), așa cum sînt ele modelate matematic în algoritmul unui CA, fără explicitarea parametrului durabilitate (T) funcție de uzură nu sînt temeinic formulate. În /5/ se propune

în mod unic drept criteriu al optimizării costul minim al operației și în condițiile precizării restricțiilor sistemului ($M_t, P_{ax}, s_{min}, s_{max}, n_{min}, n_{max}, v_{min}, v_{max}, d_{min}, d_{max}, P_{ef}, P_{max}$), se precizează că deși reglajul avansului nu este obiectul lucrării /5/, totuși el poate să atingă maximum tehnologic instalabil pe MU prin sistemul ei, datorită algoritmului de calcul stabilit pentru GA, prin reglajul turăției. Este posibil să se poată, (s_{max}), dar nu pentru toate domeniile de prelucrare al găurilor, cum lesne se poate vedea, dacă am analiza acest lucru din punctul de vedere al danturării cu FMC, dacă pentru un modul de $2 - 2,5$ mm se poate instala un s_{max} , acest lucru cu siguranță pentru $m = 6 \dots 8$ mm, este posibil mai mic. De aici, rezultă și necesitatea clarificării condițiilor dezvoltării uzurii sculelor în condițiile GA, care pot cel mai bine răspunde dezideratului durabilității maxime a sculei deci a valorilor optime pentru s și v_{ag} instalabile prin GA.

De altfel, aici în /16/, autorul nu-și propune a exprima, mărimea controlată în proces, funcție de T , mai mult chiar cele două restricții precizate pentru v_{ec} , (funcție de parametrii clasici ai frezării) și v_p - limitată de putere, înseamnă ca și în /5/ că de fapt sistemul dacă satisface condițiile impuse prin strategia de calcul, poate instala și controla așa regimuri de lucru care pot fi în permanență cu P_{max} sau s_{max} . Acest lucru nu este întotdeauna adevărat nici pentru mașinile clasice, mai ales pentru cele echipate cu GA.

Sînt cunoscute de altfel, modele de exprimare pentru cazul mașinilor de frezat, a criteriului costului minim al operației în lei/mm^3 (volum de așchii îndepărtat), desigur pentru o durabilitate dată. Nu se iau însă în seamă cursele în gol ale mașinii, fapt ce duce la determinări eronate privind strategia de optimizare. Față de aceste neajunsuri se poate preciza că de exemplu firma Cincinnati, a sesizat aceste neajunsuri și a stabilit un algoritm la frezare cu GA luînd în calcul toate situațiile inclusiv cazul sculelor avariate, timpii ajutători, programarea și corecția mărimilor de lucru, reglaj și alte cerințe, dar tot pentru o durabilitate dată a sculei.

De asemenea, sînt cunoscute cazuri de exprimare a criteriilor de optimizare pentru costul specific privind cheltuielile pentru unitatea de suprafață așchiată, lungimea așchiată sau volumul de așchii detașat la operația considerată, exprimate în mărimile aferente (unitate de timp), desigur tot pentru o durabilitate dată a sculei.

Din cele prezentate mai înainte se desprinde ideea necesității absolute, reclamate îndeosebi de sistemele flexibile de fabricație, a conducerii MU cu CA cu ajutorul strategiilor de optimizare care să controleze și instaleze mărimile de referință și execuție nemijlocit exprimate prin criteriul uzurii minime a sculei, deci a durabilității maxime.

2.3. Situația optimizării la danturarea cu freza-melc cilindrică

Problema optimizării la danturarea cu FMC /18/,/20/,/24/, constă în determinarea valorii variabilelor independente, corespunzătoare punctului optim, valori reprezentate de către o funcție de o variabilă dependentă care în realitate este criteriul eficienței și care în cazul nostru este exprimată de către costul operației:

$$C = f(x; s, v; a) \quad (2.3.1.)$$

în care:

- x - variabilă independentă (adâncimea);
- s, v - parametrii regimului de aşchiere;
- a - variabilă aleatoare (lichid de răcire, duritate material de prelucrat, rigiditate STR, etc.).

În cazul considerării costului specific /20/, drept cost al prelucrării unității de volum de material, a cheltuielilor legate de MU și sculă, prin dezvoltarea calculelor se pot stabili expresiile volumului de material îndepărtat în timpul prelucrării și durabilitatea sculei, din formularea criteriului de optimizare propus, după cum urmează:

a. expresia volumului de material îndepărtat, în unitate de timp în procesul prelucrării, rezultă din:

$$Q = \frac{1}{\pi} (0,4t^2 + 0,725 mt) \cdot v s i \frac{1}{D_g \cdot \cos \beta} \quad [\text{mm}^3/\text{min}] \quad (2.3.2.)$$

în care:

- m - modulul frezei-melc, în mm;
- v - viteza de aşchiere, în m/min;
- s - avansul de lucru, în mm/rot;
- i - numărul de începuturi al frezei-melc;
- D_g - diametrul exterior al frezei-melc, în mm;
- β - unghiul de înclinare al dinților roții de prelucrat, pentru cazul roților cu dinți înclinați;
- t - adâncimea de aşchiere, în mm.

b. expresia durabilității admise:

$$T = \frac{C_v^{\mu}}{v^{\mu} \cdot s^{\mu x_v} \cdot m^{\mu y_v}} \quad [\text{min}], \quad (2.3.3.)$$

în care:

C_v - coeficient al vitezei de aşchiere;

μ - inversul exponentului durabilității ($\mu = \frac{1}{m}$);

x_v - exponent al avansului;

y_v - exponent al modulului sculei.

Problema optimizării presupune deci, de a stabili /20/, domeniul de lucru al mașinii, fie avansurile maxime pînă la limita specifică pentru orice MU, (a căror apreciere nu poate să fie făcută numai teoretic ci și experimental), fie, $v_{așmax}$ (prin care se determină de fapt cîmpul de lucru al mașinii pentru o durabilitate dată a sculei), figura 2.15.

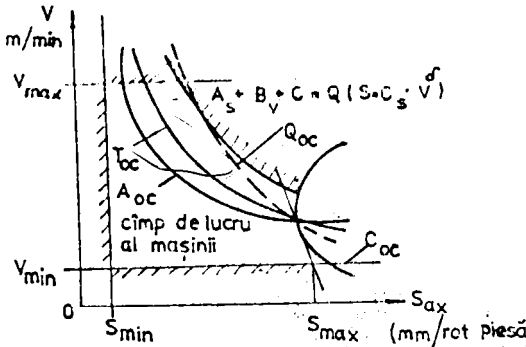


Fig.2.15. Graficul parametrilor de regim de prelucrare optimă, pentru costul minim al prelucrării piesei

În acest mod, ținînd cont de limitele restrictive ale mașinii, s-a putut determina experimental valoarea lui s exprimată cu ajutorul unei relații analitice de tipul:

$$s = C_s \cdot v^{\sigma} \quad (2.3.4.)$$

Din figura 2.15. se poate observa, că minimum funcției costului, respectiv pentru valor optime ale regimului de lucru poate să fie găsit în punctul de tangență dintre curba de restricție și curba $c = \text{constant}$. În aceste condiții, astfel precizate în /20/,

rezultă că pentru a găsi costul minim, este echivalent cu determinarea durabilității economice a sculei. Acest lucru se poate obține eliminînd v și s în relația durabilității sculei, pe baza utilizării relației 2.3.4. și a derivatei relației 2.3.1. funcție de viteză, adică din sistemul:

$$T = \frac{C_v^{\mu}}{v^{\mu} \cdot s^{\mu x_v} \cdot m^{\mu y_v}} ; \quad s = C_s \cdot v^{\sigma} ; \quad \frac{dT}{dv} = 0 ;$$

$$(2.3.5.)$$

rezultă deci relația durabilității economice de forma:

$$T_{ec} = \left(\mu \frac{\delta x_v + 1}{\delta + 1} - 1 \right) \cdot \zeta_{us} \quad (2.3.6.)$$

în care:

δ - exponent al curbelor restrictive din graficul dat în figura 2.15.;

ζ_{us} - timpul necesar pentru înlocuirea sculei și reglarea mașinii, în min.;

Urmînd același drum al raționamentului de calcul propus mai sus, se poate formula un sistem de ecuații (asemănător celui din relațiile 2.3.5.), și pentru cazul criteriului capacității maxime de producție. Si în acest caz, de asemenea, se ia în considerare în vederea optimizării regimului de așchiere problema durabilității economice din punctul de vedere al capacității de producție pentru care se poate determina în mod asemănător relației 2.3.6., expresia durabilității economice.

După cum s-a văzut în cele prezentate mai sus, cele două funcții de optimizare sînt asemănătoare în sensul că ele conduc la determinarea durabilității economice pentru oricare din cele două criterii adoptate.

În /18/ sînt prezentate considerente și precizări privind stabilirea strategiei de optimizare a CA pentru s și v , luînd în considerare, aspectele concrete ale desfășurării procesului de așchiere; interacțiunea directă dintre sculă și semifabricat.

Metoda de stabilire a strategiei de optimizare pentru CA la MDFMC, ține seama de necesitatea admiterii mai întîi a s_{max} permis de restricțiile impuse și apoi reclamă determinarea lui v_{opt} din criteriile de optimizare cunoscute.

În determinarea lui v_{opt} trebuie să se țină seama de modul cum aceasta (v_{opt}) este influențată de specificul formării așchiiilor la danturare, cu o geometrie diferită a așchii la intrare și la ieșire. Pentru stabilirea strategiei de optimizare pentru CA la danturare, pentru v se are în vedere că în acest caz CA trebuie să fie constituită din două bucle principale /18/, cu RIG, prima fiind pentru avans, cu închidere principală prin însăși procesul de așchiere, bucla vitezei, fiindu-i subordonată. De asemenea, se impune ca strategia de optimizare să corespundă la toate ciclurile tehnologice pentru care este stabilită.

În consecință prin strategia de optimizare va rezulta un

algoritm de calcul pentru CA, care reclamă existența a două elemente traductoare, unul pentru puterea EMAT-ului principal de antrenare și un al doilea pentru momentul principal de apăsare în FAG.

Stabilirea algoritmului de calcul pornește de la necesitatea ca s , să devină s_{max} și considerînd încărcarea cu F_t , plecînd de la expresia acesteia, care poate fi reorganizată sub forma de mai jos, se obține:

$$F_t = C_P(a, z_p, m, \beta, i) \frac{s \cdot t}{v}; \text{ și } F_t \leq F_{ref} \quad [daN] \quad (2.3.7.)$$

în care:

- F_{ref} - mărimea de referință rezultată din condiția impusă de STB;
- a - coeficient ce ține seama de materialul de prelucrat;
- z_p - numărul de dinți ai piesei de prelucrat;
- m - modulul frezei-mole;
- β - unghiul de înclinare al dinților roții dințite;
- i - număr de începuturi la freza-mole.

Pentru a satisface condițiile de restricție impuse de STB, vom avea:

$$s_P = F_{tref}^{\frac{1}{\alpha}} \cdot v^{\frac{1}{\alpha}} \cdot \left[C_P(a, m, z_p, \beta, i) \cdot t \right]^{\frac{-1}{\alpha}} \quad (2.3.8.)$$

Ținînd cont de restricția impusă de M_{tAPref} , știind că:

$$M_{tAPref} \geq M_{tAP} = \frac{1}{2} F_t \cdot D_P \quad [daNm] \quad (2.3.9.)$$

sau:

$$F_t = \frac{2 \cdot M_{tAPref}}{D_P} \quad [daN] \quad (2.3.10.)$$

rezultă:

$$s_M = \left(\frac{2}{D_P} \cdot M_{tAPref} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \cdot v^{\frac{1}{\alpha}} \left[C_P(a, z_p, m, \beta, i) \cdot t \right]^{\frac{-1}{\alpha}} \quad (2.3.11.)$$

Restricțiile impuse de calitatea suprafeței sînt de formă:

$s \leq s_{CG}$, se impune deci să se instaleze valoarea minimului care satisface simultan condițiile:

$$s \leq s_P; \quad s \leq s_M; \quad s \leq s_{CG}; \quad (2.3.12.)$$

condiții care pot fi ușor reduse în funcție de caracteristicile de calitate.

Pentru desfășurarea calculului în continuare, în (2.3.8. și 2.3.11.) se va considera că v este aproximativ constant, pentru

o comandă de tip primar.

Se poate vizualiza continuarea două situații când restricțiile sînt 2.3.8., 2.3.11. sau $s \leq s_{cs}$.

Pentru a găsi v_{ec} , putem combina în continuare relația 2.3.8. cu expresia lui v_{ag} de mai jos:

$$v_{ag} = C_v \cdot m^{-u} \cdot T_p^{-w} \cdot s^{-q} \quad [\text{m/min}]. \quad (2.3.13.)$$

Dacă T_p ne dă pentru (2.3.13.) o valoare optimă, atunci putem utiliza relația (2.3.13.) combinat cu relația (2.3.8.) și știind că s este instalat, deci cunoscut sau măsurabil, obținem:

$$v_{ec} = \frac{C_v \frac{\alpha}{q\sigma+1} \cdot m^{\frac{+u\alpha}{q\sigma+\alpha}} \left[(C_v(a, z_p, m, \beta, i) \cdot t)^{\frac{q}{q\sigma+\alpha}} \right]}{T_{ec}^{\frac{w\alpha}{q\sigma+\alpha}} \cdot F_{tref}^{\frac{q}{q\sigma+\alpha}}} \quad [\text{m/min}]. \quad (2.3.14.)$$

În /13/, se precizează că, atunci când restrictivă este calitatea suprafeței, v_{ec} rezultă direct, valorizată de (2.3.14.) este de fapt o referință. În condițiile în care puterea disponibilă este suficientă, avem:

$$v_{ec} \cdot F_{tref} = P_{ag} \leq AP = M_{tref} \cdot 2 \eta_{ap} \quad (2.3.15.)$$

$$v_{ec} \leq \frac{M_{tref}}{F_{tref}} \cdot 2 \eta_{ap} \cdot F$$

Dacă relația (2.3.15.) nu este satisfăcută, atunci se reduce n_{ap} , se instalează o valoare $v_{ag} < v_{ec}$, astfel că restricția de moment sau putere va fi respectată.

Relațiile deduse scot în evidență că prin algoritmul de calcul stabilit, se pot menține condițiile de restricție impuse prin reglarea corespunzătoare a lui v , pentru o durabilitate T dată a FMC.

Desigur modelarea matematică a problemei de optimizare /13/, /20/, a regimurilor de lucru este riguros realizată matematic. În altă ordine de idei, un câștig deosebit este faptul că în literatura de specialitate apare precizat faptul că a optimiza (în cazul dăburării cu FMC), înseamnă a găsi durabilitatea optimă. Cu toate acestea, exprimarea durabilității optime (T_{op}), este făcută tot pentru valori însăși ale parametrilor aşchierii v și s , cel mai interesant fiind faptul că tehnologia ar fi stată de ea însăși T_{op}

prin ceea ce îl caracterizează și anume prin uzură și aceasta prin indicii ei cunoscuți, adică uzura relativă, viteza uzurii etc.

În același timp, în cazul danturării cu PFC, problema optimizării nu poate fi despărțită de ciclurile tehnologice instalabile în general pe MDFPC, cât mai ales și de modul de instalare al avansurilor, cu cauzistica specifică precizată în capitolele 2.2. și 2.3.

Este mai mult decât necesar a se lua în considerare aspectele fiecărui ciclu tehnologic în parte, mai ales pornind de la recunoașterea unanimă că uzură la sculă înseamnă interacțiune între așchie și suprafețele de lucru ale sculei, ori tocmai la danturare formarea așchiilor, constituie un caz aparte, mai ales pentru fiecare ciclu tehnologic.

Problema durabilității maxime a sculei, presupune nu numai satisfacerea criteriului ales de strategia de optimizare, pentru v, s, t , mai mult chiar înseamnă un număr mai mare de piese și mai ales precizie ridicată pentru intervalul optim de lucru stabilit prin această strategie.

În condițiile specifice ale danturării pe MDFPC, pentru cazul unei CA al avansului, existent, este o problemă deosebită tocmai reevaluarea informațiilor în domeniul optimizării și orientării acestora pe direcția satisfacerii oricărui criteriu de optimizare prin cunoașterea dinamicii și indicilor caracteristici fenomenului uzurii PFC.

De fapt, pentru o MDFPC, cu performanțe ridicate în domeniu, așa cum este cazul MDFPC cu CA a avansului, problema preciziei la danturare (din punct de vedere al așchierii), devine a durabilității maxime a sculei, deci a uzurii minime la cât mai multe piese prelucrate față de condițiile inițiale ale unei CA.

Problema preciziei piesei la danturarea cu PFC, este luată în discuție în prezenta lucrare, fără a considera precizia cinematică și dinamică dată de rigiditatea STE, ca factor de influență asupra acesteia, în condițiile date ale MDFPC cu CA a avansului, existentă.

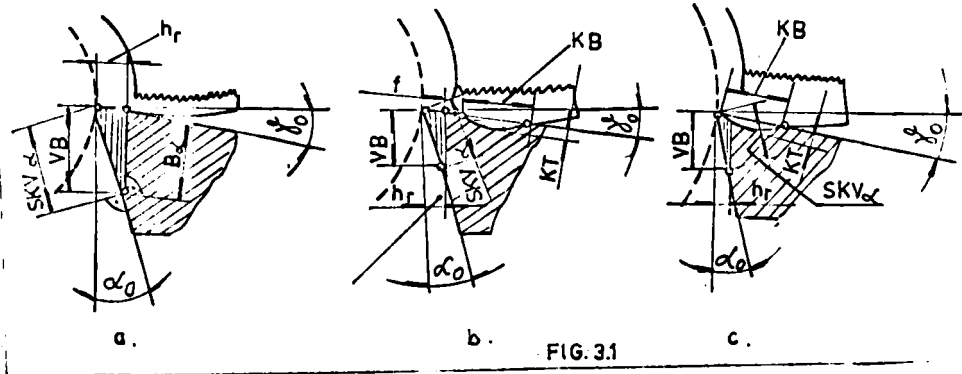
3. PROBLEME ALE UZURII LA DANTURAREA CU PREZA-MELC CILINDRICA

3.1. Definirile uzurii în condițiile frezei-melc

Uzura sculelor așchietoare, se definește ca un proces complex, de îndepărtare treptată, de pe fețele active ale sculei, a unei cantități de material, în timpul procesului de așchiere, de către așchie și suprafața de așchiat a semifabricatului.

În zona de contact dintre suprafețele active ale sculei, ale tăișurilor acestora de fapt și semifabricat, se manifestă existența unor gradienti ridicați de presiune și temperatură, de asemenea și un proces accentuat de frecare între aceste suprafețe în contact.

În general, în literatura de specialitate /19/,/31/,/32/, /33/,/35/,/36/,/37/,/38/,/42/, sînt acceptate ca principale forme ale uzurii cele redată în figura 3.1., după cum urmează:



- Principalele forme ale uzurii sculelor așchietoare
- uzura numai pe fața de așezare (fig.3.1.a); VB;
 - uzura pe fața de așezare VB și de degajare KT, situată la distanța f, (fig.3.1.b);
 - cele două tipuri de uzuri VB și KT suprapuse pe o anumită porțiune.

În aceste condiții se pot face aprecieri privind evoluția uzurii, funcție de viteza de așchiere și variația geometriei așchii ca principal factor al dezvoltării uzurii pentru aceleași condiții date ale așchierii. La viteze de așchiere mici și așchii subțiri /19/,/35/, uzura are loc mai ales pe fața de așezare, la viteze de așchiere medii și grosimi de așchii mijlocii, uzura are loc pe fața de așezare și pe fața de degajare. (figura 3.1.a, 3.1.b). În vi-

teze de aşchiere mari şi aşchii groase, uzura are loc mai ales pe faţa de degajare, dar odată cu apariţia depunerilor de tăiş şi cu dezvoltarea craterului uzurii depunerile dispar şi uzura începe să apară şi pe faţa de aşezare (figura 3.1.c.).

În general, fenomenul intim al procesului uzurii sculelor aşchietoare nu este explicat, totuşi cele mai multe încercări şi formulări ale legilor uzurii sînt făcute pentru cazul sculelor din familia cuţitelor de strung, burghiilor, frezelor şi în mai mică măsură şi aproape de loc pentru frezele melc cilindrice.

Tocmai de aceea, luînd în considerare datele cu caracter general asupra uzurii, cunoscute şi prezentate precum şi încercările unor autori /30/, /34/, de a explica şi aspectele date de fenomene ale uzurii la FMC, în cele ce urmează se vor formula consideraţii tocmai pentru FMC, din punctul de vedere al uzurii.

La danturarea cu FMC pe MDFMC, fenomenele uzurii sculei pît fi analizate pentru următoarele două cazuri:

I. Aspecte ale uzurii dintelui frezei melc cilindrice;

II. Aspecte ale repartizării uzurii de la dinte la dinte, pe generatoarea frezei melc cilindrice.

I. În condiţiile solicitărilor complexe, care apar în timpul aşchierii, pentru FMC, se pot preciza următoarele forme de uzură (figura 3.2.), pentru un dinte al frezei:

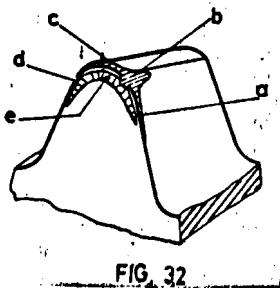


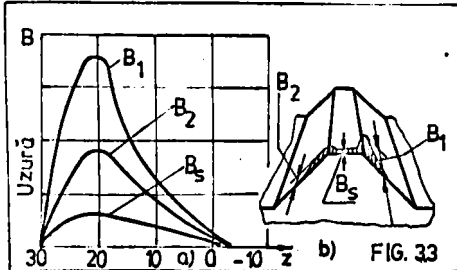
FIG. 32

Forme ale uzurii dintelui FMC
pe reascuțirea FMC.

a. uzura flancului dintelui; b. uzura de flanc a colțului capului dintelui; c. uzura muchiei spatelui dintelui; d. uzura prin fărîmîtare; e. uzura sub formă de crater a feței de degajare. Uzura de flanc, este caracteristică FMC, realizate din oțel rapid și este decisivă pentru reascuțirea frezei. În timpul aşchierii celorlalte forme (a, c, d, e) ale uzurii cresc în intensitate, uzura de flanc apare după un timp de danturare și suprapusă peste primele, impu-

Cercetările efectuate /30/, /34/, /43/, au scos în evidență faptul că uzura pe flancuri și spatelui dintelui FMC are aspectul prezentat în figura 3.3.a, pentru care mod de evoluție se poate reprezenta și graficul din figura 3.3.b. Din analiza graficului din figura 3.3.b se vede că intradevăr cota cea mai mare privind necesitatea reascuțirii FMC, o reclamă tot uzura de flanc (b) și că de asemenea maximul

uzurii pentru oricare suprafață a spatelui sau flancului dintelui este aceeași pentru același număr al dintelui.

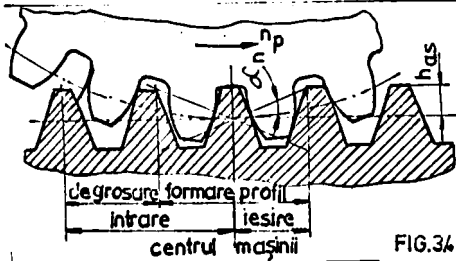


Variația uzurii de flanc a dintelui FMC tehnologice instalabile pe MDFMC, poate aduce clarificări în această problemă.

Cunoașterea evoluției uzurii dintelui FMC este foarte importantă în ceea ce privește stabilirea strategiei de conducere a CA, a MDFMC, în condițiile satisfacerii criteriului durabilității maxime și a preciziei pieselor danturate. În condițiile complexe ale danturării, numai o cercetare concretă a fenomenelor specifice acesteia, în contextul cazurilor

II. Aspecte legate de repartizarea uzurii de la un dinte la altul al FMC, pot fi analizate în condițiile în care se ține

cont de modul de desfășurare al interacțiunii dintre sculă și piesă. După cum se vede din figura 3.4., este vorba despre o succesiune a intrării dinților în aşchiere, zona de degroşare (din lungimea FMC) zona de formare a profilului golului dintelui roții de prelucrat și zona ieşirii din aşchiere a FMC. Condițiile aşchierii și regimul concret al dezvoltării uzurii din punctul



Mod de lucru al dinților FMC

ales nu se cunosc date în literatura de specialitate privind influențele acestor situații asupra modului de stabilire în proces a valorilor lui v_{ag} și s , în condițiile menținerii preciziei danturării.

Din punctul de vedere al CA (la danturare), foarte important este deci de a asigura în proces, o uzură minimă sculei (mai ales pentru cazul FMC, care este suficient de scumpă), deci un număr mare de piese, cu aceeași precizie (impusă), și în acest sens o durabilitate ridicată a FMC. Inșă așa cum se știe din literatura de specialitate /6/, /30/, /32/, /33/, /38/ un rol important în apariția și dezvoltarea uzurii, îl are și temperatura de aşchiere.

Problema măsurării temperaturii în zona aşchierii, în con

diții de atelier (nu de laborator) este nesoluționată pentru cazul FMC, unde după cum se știe altele sînt datele problemei.

In consecință se pune o problemă majoră a volumului de informații de care se poate dispune pentru temperatura optimă, în condițiile căreia să putem asigura prin CA, v_{opt} , pentru diferite combinații de material de prelucrat și construcții de scule.

Așa cum se precizează în /6/, uzura și deci durabilitatea sculelor așchietoare, se găsește în strînsă interdependență față de temperatura de așchiere dezvoltată în procesul de așchiere. De altfel, în condițiile sculelor mai puțin complexe ca geometrie și formă s-a putut stabili că pentru fiecare sculă și material dat, există o temperatură, în limitele căreia capacitatea de așchiere a sculei se micșorează considerabil. De altfel, durabilitatea sculelor așchietoare armate cu plăcuțe tip P 10, scade odată cu creșterea tem-

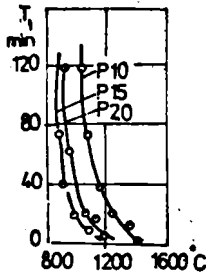


FIG. 35

Evoluția durabilității funcție de θ° de așchiere

peraturii de așchiere, figura 3.5., cînd după cum se vede la temperaturi peste $1000^{\circ}C$, este practic nulă. Experiențele au arătat că există o dependență a vitezei de așchiere $v_{aș}$, față de durabilitatea T a sculelor așchietoare, în condițiile creșterii temperaturii de așchiere. Potrivit /6/, orice combinații de $v_{aș}$, pot fi extrase din actarii de temperatură, și invers, avansul și adîncimea de așchiere le asemenea la aceeași durabilitate dată a sculei, îi corespund o anumită temperatură. In aceste condiții, se pot face precizări privind durabilitatea sculelor așchietoare pentru care se poate însă stabili un minim al vitezei de uzură pentru un material dat și un avans de lucru, care corespund unei viteze v_{opt} , căreia de asemenea îi corespunde o temperatură θ_{opt} .

In condițiile prelucrării unor piese din OLC 25, cu scule armate cu plăcuțe tip P 20, s-a putut stabili legătura între creșterea $v_{aș}$ și evoluția uzurii sculei așchietoare și durabilitatea T a acesteia. Așa cum se vede și din figura 3.6., și cum s-a și precizat în /38/, temperatura optimă de așchiere θ_{opt} , este o constantă fizică, pentru perechea dată sculă-piesă, ea se poate menține pe toate punctele extremale ale familiei de curbe (v, h_p) , pentru diferite avansuri de lucru. De asemenea s-a precizat că orice mărire sau micșorare a lui $v_{aș}$ față de v_{opt} , duce la modificări substanțiale ale uzurii sculei și deci la scăderea lui T , cu implicații serioase privind re-glajul sculei așchietoare în STE.

În aceste condiții datorită limitelor tehnice reale existente în domeniul măsurării temperaturii la danturare, în zona aşchii-sculă, se recurge la metode indirecte de determinare a v_{opt} , ca de exemplu din punctul de vedere al durabilității T , care așa cum se știe din practica tehnologică, dă valori apropiate pentru $v_{aş}$ de aplicat în procesul aşchierii.

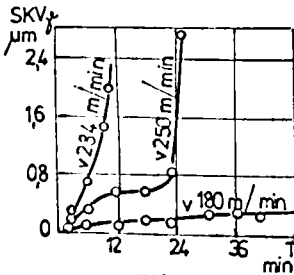


FIG. 36

Influența $v_{aş}$ asupra T și uzurii sculei aşchietoare
pul stabilirii relațiilor de calcul a $v_{aş}$ funcție de durabilitatea T a FMC.

Plecând de la aceste precizări, în prezenta lucrare se consideră că determinări ale limitelor uzurii FMC, constituie o bază tehnologică reală în scopul stabilirii relațiilor de calcul a $v_{aş}$ funcție de durabilitatea T a FMC.

3.2. Precizări a limitelor de uzură

În condițiile exploatării tehnologice a sculelor aşchietoare, pe măsură ce uzura crește, se produce o modificare a foțelor și muchiilor active, pînă la un moment cînd procesul de aşchiere trebuie oprit, iar scula reascuțită.

Momentul opririi, corespunde unei anumite valori a uzurii sculei care se stabilește pe baza unei limite admisibile de uzură. Limita de uzură reprezintă suma factorilor (sau a unui factor hotărîtor) /31/, /32/, /35/, /36/, /38/, /39/, /42/, care determină întreprerea procesului de aşchiere cu scula aşchietoare, atunci cînd evoluția uzurii a atins o anumită limită maximă admisibilă. În teoria aşchierii metalelor pentru aprecierea nivelului limită al uzurii sînt precizate trei cazuri de interpretare: a. cazul uzurii optime; b. cazul uzurii tehnologice; c. cazul petelor lucioase sau al frînării.

Limita uzurii admisibile se alege în funcție de tipul operației de prelucrare și de condițiile tehnice impuse la execuția sculei aşchietoare.

a. Cazul uzurii optime. Se consideră că scula s-a uzat complet cînd de exemplu uzura pe suprafața de aşezare (sau de degajare), ajunge la un nivel limită egal cu valoarea propusă ca optimă pentru un caz de prelucrare dat. Uzura optimă corespunde durabilității totale efective maxime a sculei aşchietoare.

Pentru calculul durabilității totale efective a sculei, se poate utiliza cu o precizie suficientă, relația:

$$T_{\text{tot}} \cong i \cdot T \quad [\text{min}], \quad (3.2.1)$$

în care: T - durabilitatea medie între două reascuțiri succesive, în min;

i - numărul total de reascuțiri admise de sculă pînă la epuizarea tăgșurilor respective.

Pentru determinarea uzurii VB , pe fața de așezare, pentru care durabilitatea totală are valoarea maximă, în /46/, se propune o schemă de calcul, ca în figura 3.7. În acest caz se consideră o

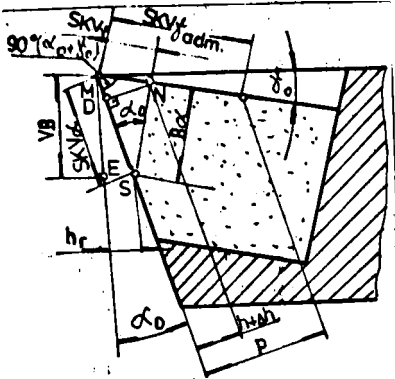


FIG.37

Schema de calcul a uzurii pe fața de așezare

sculă așchietoare oarecare, uzată, care prezintă pe fața de așezare uzura limitată VB_{max} . Pentru repunerea în funcțiune a sculei se îndepărtează prin rectificare (reascuțire) un strat de material cu grosimea $h + \Delta h$ (Δh corespunde lui VB_1).

Modul de determinare a limitelor uzurii pentru acest caz, utilizează în calcule (figura 3.7.), notațiile pentru uzura pe fața de așezare și degajare care reprezintă tocmai valorile limită admisibile ($VB_{\text{max adm}}$, $SKV_{\text{max adm}}$)

Luând în considerare valoarea lui $\Delta h = 0,1 \dots 0,15$ mm, recomandată pentru o reascuțire (incluzînd în ea și toleranța la reascuțire) și dezvoltînd calculul, pentru determinarea lui VB se obține relația:

$$h + \Delta h = \left[VB \cdot \cos(\alpha_0 + \gamma_0) / \cos \gamma_0 \right] \cdot \text{tg } \alpha_0 \quad (3.2.2)$$

$$\text{sau: } h + \Delta h = VB \cdot c \quad (3.2.3)$$

deoarece pentru o sculă dată, valorile unghiurilor α_0 , γ_0 , și a celorlalte mărimi sînt constante.

În condițiile în care T_{tot} este dat de relația 3.2.1., după ce determinăm valoarea lui "P", (din figura 3.7.), se poate exprima atât i cît și T_{tot} funcție de VB , după cum urmează:

$$i = \frac{P}{h + \Delta h}; \quad T_{\text{tot}} = \frac{P \cdot T}{h + \Delta h} = \frac{P \cdot T}{VB \cdot c} \quad (3.2.4)$$

După cum se vede din relația 3.2.4., $T_{\text{tot}} = f(VB)$, în aceste condiții pentru determinarea valorii maxime a durabilității totale

luând drept limită a uzurii optime valoarea $VB_{\max adm}$, se poate scrie relația: $dT_{\text{tot}} / dVB = 0$ (3.2.5.)

și după efectuarea calculului și inversarea fracțiilor se obține:
 $dVB/dT = (VB + \Delta h/c) / T$, (3.2.6.)

expresie ce reprezintă intensitatea uzurii în diferite puncte ale curbei de uzură $VB = f(T)$, figura 3.8. Valoarea uzurii optime, pen-

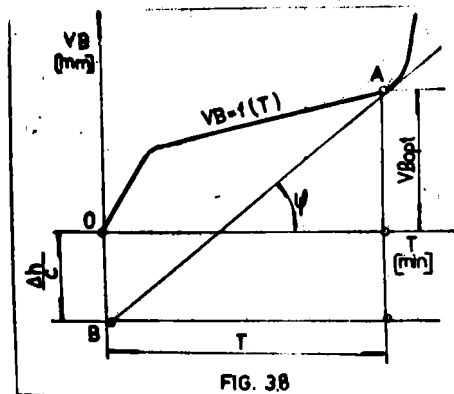


FIG. 38

tru care $T_{\text{tot}} = T_{\text{tot max}}$ corespunde aceluși punct al curbei în care intensitatea creșterii uzurii este egală cu $VB + \Delta h/c$. Din figura 3.8. rezultă: $\tan \psi = (VB + \Delta h/c) / T$ (3.2.10.)
 Construcția dreptei tangente AB, se face din punctul B care are ordonata negativă și egală cu $\Delta h/c$, față de originea O. Valoarea ordonatei tangentei la vârful curbei uzurii, reprezintă, valoarea uzurii optime a sculei.

Forma curbei de uzură corespunzătoare lui $T_{\text{tot max}}$

Acet caz, se poate aplica

pentru danturarea roților dințate cu PMC care lucrează după ciclurile tehnologice cu mod de prelucrare "Tip 1", "Tip 2D1P" și îndeosebi pentru scule complexe (ca geometrie) și cu un cost ridicat.

b. Cazul uzurii tehnologice. Dacă dependența dintre uzura VB și durabilitatea T este de forma prezentată în figura 3.9., atunci aplicarea cazului a, nu este posibil, deoarece lipsește punctul

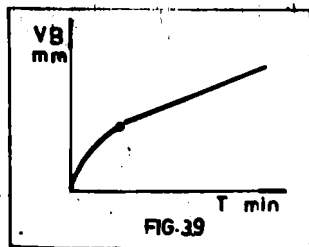


FIG. 39

Curba de uzură pentru cazul b

de inflexiune, deci nu se poate trasa tangenta la curba de uzură, pentru determinarea uzurii optime VB_{opt} .

Uzura tehnologică reprezintă aceeași limită de uzură, pentru care funcționarea sculei se oprește din motive tehnologice, printre care se amintesc cele mai importante:

- mărirea bruscă a rugozității suprafeței prelucrate;
- micșorarea preciziei dimensionale, datorită uzurii părții active a sculei;
- apariția vibrațiilor în sistemul tehnologic;
- ridicarea bruscă a temperaturii piesei;
- ruperea unor porțiuni mai puțin rezistente ale sculei.

Acet caz al uzurii tehnologice se poate utiliza cu eficien-

zie suficientă la danturarea roților dințate cu FMC, care lucrează după ciclurile tehnologice cu mod de prelucrare "Tip 1F". Datorită acestui fapt se mai poate utiliza în cadrul acestui caz și noțiunea de uzură radială h_r , pentru care se stabilește ca maximul admis să nu depășească jumătatea toleranței dimensionale a piesei ($T_{D,d}$), adică: $h_r \text{ max adm} \leq T_{D,d}/2$. (3.2.11.)

Din figura 3.7. se poate determina valoarea lui h_r , adică $h_r = VB \cdot \text{tg} \alpha_0$, deci condiția (3.2.11.) devine:

$$VB \leq T_{D,d} / 2 \text{ tg} \alpha_0. \quad (3.2.12.)$$

c. Cazul petelor lucioase. Se aplică în general la FM care lucrează după cazul tehnologic "Tip 1", la care așa cum știm prelucrarea nu impune condiții de precizie dimensională sau rugozitate.

Nivelul uzurii totale limită este pus în evidență prin apariția unor vibrații ale sculei, scînteii între piesă și FM, (în cazul danturării efectiv se produce fum), iar pe suprafața prelucrată apar pete lucioase. Practic din cauza protejării sculei se limitează nivelul maxim admis la 1,5... 2,5 mm, dimensiunea uzurii.

3.3. Moduri de exprimare a mărimilor uzurii

În sprijinul evaluării datelor referitoare la evoluția dimensională a uzurii FMC, în cele ce urmează se prezintă câteva moduri de exprimare a uzurii, care pot caracteriza cel mai bine, /31/,

/37/, /43/, dinamica uzur FMC, deci a durabilității acesteia. În acest sens, se propune utilizarea figurii 3.10. care oferă o serie de elemente ce vor servi la formularea mai bună a diferitelor relații de calcul a intensității uzurii, funcție de lungimea drumului parcurs în așchiere, de sculă. În cazul danturării cu FMC, lungimea drumului parcurs este de fapt mai mare decât generatoarea

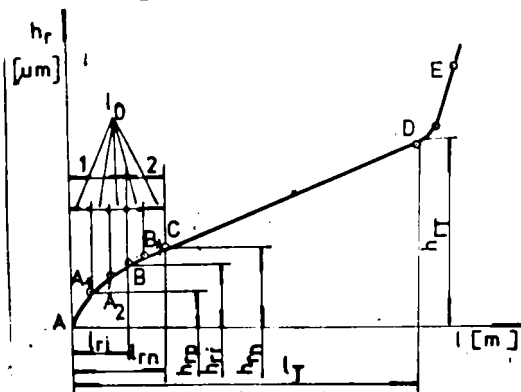


FIG 3.10

Curba de variație a uzurii funcție de lungimea drumului parcurs în așchiere

roții dințate cilindrice și anume cu diferența rezultată din arcele de cerc prin a căror tangență se determină suprafața prelucrată a dintelui.

În cazul determinării intensității uzurii funcție de lungimea drumului parcurs se impune efectuarea calculului geometric al acestuia, în funcție de parametri concreți ai aşchierii.

Pentru determinarea uzurii în general, la aşchiere se disting două etape: etapa 1, când se poate găsi mărimea primară a uzurii radiale h_{r1} (pînă în B) și etapa 2, care ocupă porțiunea de început a procesului uzurii normale, pe care interval de altfel se poate calcula mărimea uzurii liniare relative:

$$h_{rr} = (h_{rn} - h_{r1}) / l_{rn} - l_{r1} \quad [\mu\text{m}/\text{m}]. \quad (3.3.13)$$

Dacă se ia drept limită a uzurii, mărimea uzurii radiale h_{rT} , atunci corespunzător se poate calcula durabilitatea T cu relația: $T = l_T / v_{a\dot{a}}$; sau $T = [l_{r1} + (h_{rT} - h_{r1}) / h_{rr}] / v_{a\dot{a}} [\text{min}]$ (3.3.14)

Cercetările experimentale, pentru scule din familia cuțitelor de strung /36/, au arătat că h_{rT} , depinde de mărimea unghiului α_0 , și mărimea uzurii cuțitului pe fața de aşezare VB (fig.3.7.) pentru care s-au făcut determinări practice corespunzător diferitelor mărci de oțeluri.

Informațiile privind evoluția uzurii pe fața de aşezare se pot prelucra mai bine, utilizînd în calcule expresia uzurii specifice a sculei pe suprafața de aşezare /36/, /38/, :

$$u_o = \frac{B_n - B_i}{T_n - T_i} \quad [\mu\text{m}/\text{min}], \quad (3.3.15.)$$

în care: B_n - lățimea fațetei de uzură normală pe fața de aşezare corespunzător punctului C, în μm ;

B_i - lățimea fațetei de uzură pe fața de aşezare, la sfîrșitul perioadei de uzură inițială, corespunzător punctului B, în μm ;

T_n - timpul de aşchiere corespunzător lui B_n , în min ;

T_i - timpul de aşchiere corespunzător lui B_i , în min ;

În calculele de proiectare a proceselor tehnologice unde se reclamă precizia ridicată la prelucrare, ca de exemplu în cazul danturării cu FMC, se impune să se calculeze de fapt uzura radială h_r , pentru a se putea lua măsuri privind instalarea și reglarea corectă a sculelor aşchietoare în diferitele sisteme funcționale. Uzura h_r este:

$$h_r = [(1 - l_{r1}) \cdot h_{rr}] / 1000 + h_{r1} \quad [\mu\text{m}]. \quad (3.3.16.)$$

În mod asemănător se poate determina lățimea fațetei uzurii optime pe suprafața de aşezare, B_0 , adică:

$$B_0 = (T_n - T_1) u_0 + B_1 \quad [\mu\text{m}]. \quad (3.3.17)$$

Pornind de la aceste formulări, în literatura de specialitate /38/, s-au făcut determinări pentru cazul prelucrării unor oțeluri de îmbunătățire, cu scule echipate cu plăcuțe P10, luîndu-se drept caz al uzurii, uzura radială h_r . În acest caz s-a determinat

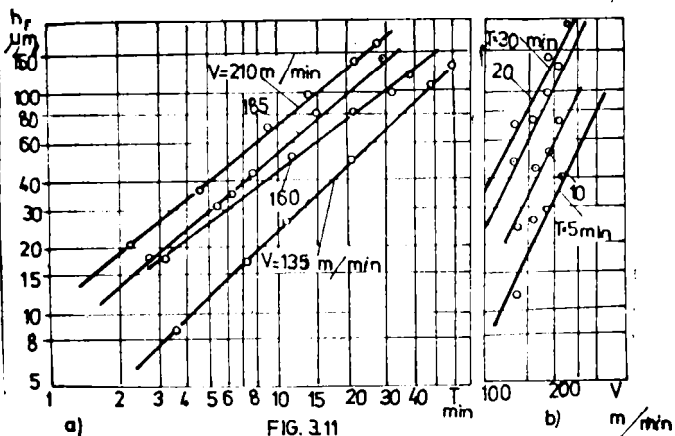


FIG. 3.11

Dependențele uzurii radiale h_r funcție de T și $v_{aș}$

$$\text{lei: } v_{aș} = h_r \left[\frac{1/2,12}{(106/107)^{1/2,12}} \right] / T^{0,87/2,12} \quad [\text{m/min}]. \quad (3.3.19.)$$

Dacă pentru h_r , drept limită a uzurii maxime admise se acceptă valoarea $h_r = 100 \mu\text{m}$, se obține:

$$v_{aș} = 646 / T^{0,41} \quad [\text{m/min}] \quad (3.3.20.)$$

Rezultatele determinărilor efectuate sînt ilustrate în figura 3.11., unde după cum se vede h_r este o funcție crescătoare liniară pentru T și $v_{aș}$ crescătoare. Din relația 3.3.20., se poate determina durabilitatea T (pentru h_r determinat), pentru diferite valori ale $v_{aș}$ instalate în timpul încercărilor.

În mod asemănător se poate formula o relație și pentru calculul lui B funcție de T și $v_{aș}$:

$$B = 2,45 \cdot 10^{-5} \cdot T^{0,66} \cdot v_{aș}^{1,66} \quad [\text{mm}], \quad (3.3.21.)$$

de unde de asemenea se poate exprima $v_{aș}$:

$$v_{aș} = \left[\frac{B}{2,45 \cdot 10^{-5}} \right]^{1/1,66} / T^{0,66/1,66} \quad [\text{m/min}] \quad (3.3.22.)$$

Dacă în relația 3.3.22., se va înlocui B , de exemplu cu o valoare limită maximă admisibilă, $B = 0,80 \text{ mm}$, se obține:

$$v_{aș} = 6,60 / T^{0,41} \quad [\text{m/min}] \quad (3.3.23.)$$

valoarea uzurii radiale cu relația $d = m \cdot j$:

$$h_r = 10^7 \cdot 10^{-6} \cdot T^{0,87} \cdot v_{aș}^{2,12} [\mu\text{m}]. \quad (3.3.18.)$$

Dacă relația de mai sus se rezolvă în raport cu $v_{aș}$ se obține expresia $v_{aș}$ funcție de h_r , ca limită a uzurii maxime admise și durabilitatea dată a sculei

In mod asemănător și pentru acest caz al lățimii fațetei uzurii pe suprafața de așezare, B, se poate găsi dependența (fig. 3.12)

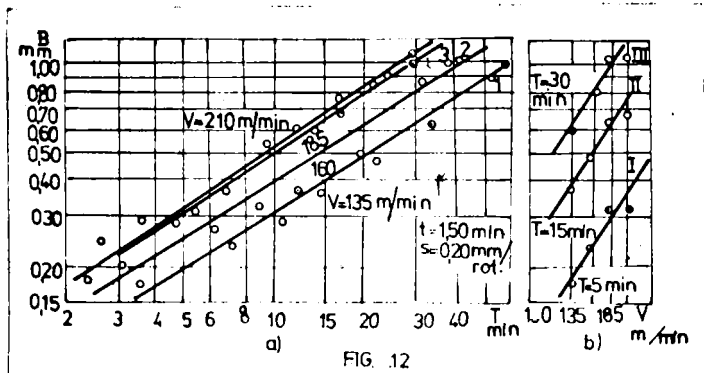


FIG. 12

Dependențele lățimii fațetei uzurii pe suprafața de așezare, B funcție de T și $v_{aș}$

funcție de T și $v_{aș}$, când de asemenea se remarcă o variație liniară pentru B

Din analiza relațiilor (3.3.20.), (3.3.23.), se observă o diferență minimă a valorilor ptr. $v_{aș}$, dacă se consideră drept li-

mită admisibilă a uzurii, oricare dintre cele două mărimi de exprimare a acesteia, h_r sau B. Aceasta justifică caracterul practic al celor două moduri de încercări, pentru același material și în aceleași condiții, cum era și sărse se obțin valori practice egale pentru $v_{aș}$ (3.3.20. și 3.3.23.).

Cercetările /31/, /34/, /35/, /38/, /39/, /45/, în direcția formulării de relații cât mai apropiate de realitate, au arătat că h_r și B, nu depind de adâncimea de așchiere t, decît în mod nesemnificativ. De exemplu, pentru un t = const., s-a putut pune

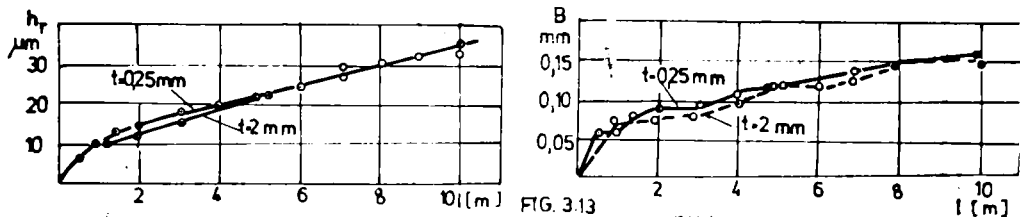


FIG. 3.13

Influența drumului parcurs în așchiere, asupra variației uzurii h_r , B, pentru un t dat

în evidență influența drumului parcurs în așchiere asupra variației uzurii h_r și B, figura 3.13. a, b. Din figură se observă influența nesemnificativă a adâncimii t de așchiere (deși după cum se vede s-au ales intervale mari pentru t = 0,25 ... 2 mm), față de h_r și B, pentru care se obțin creșteri nesemnificative.

Determinarea unui alt mod de exprimare al uzurii sculelor așchietoare, respectiv a FMC și anume mărimea intensității uzurii

este deosebit de importantă, pentru analiza capacității de lucru a sculei, în mod deosebit în condițiile funcționării acesteia pe MU echipate cu CA. Caracteristicile uzurii, cunoscute ca: timpul de lucru fără reglarea sau schimbarea sculei; lungimea drumului parcurs în așchiere; suprafața prelucrată prin așchiere, sînt parțial satisfăcătoare în condițiile MU cu CA.

În aceste condiții /38/ mult mai multe informații asupra evoluției uzurii sculei în timp (deci a aprecierii factorilor de influență v_{as} și s) dau viteza uzurii măsurate v_h , uzura relativă de suprafață h_{rs} și uzura specifică h_s (relația 3.3.15. pentru u_0).

Prin viteza uzurii măsurate, se înțelege viteza de reducere dimensională a sculei, după direcția radială în perioada uzurii normale, adică:

$$v_h = dh_r/dT = [h_r - h_{ri}] / [T - T_i] = v \cdot h_{rr} / 1000 = v \cdot s \cdot h_{rs} / 100 \quad [\mu\text{m}/\text{min}] \quad (3.3.24.)$$

Uzura relativă de suprafață se definește ca uzura radială a sculei raportată la 1000 cm^2 de suprafață așchiată, adică:

$$h_{rs} = dh_r/dS = (h_r - h_{ri}) \cdot 100 / (1 - l_i) \cdot s \quad [\mu\text{m}/10^3 \cdot \text{cm}^2] \quad (3.3.25.)$$

Uzura specifică, este considerată ca parte din suprafața așchiată pentru care scula poate să prelucreză corespunzător unui μm de uzură normală radială. Evident, la danturare suprafața așchiată corespunde suprafețelor flancurilor dinților și fundului golului roții dințate, deci:

(3.3.26.)

$$h_s = dS/dh_r = 1/h_{rs} = (1 - l_i) \cdot s / (h_r - h_{ri}) \cdot 100 \quad 10^3 \cdot \text{cm}^2/\mu\text{m}$$

Uzura relativă de suprafață și uzura specifică, sînt mărimi care deci se pot utiliza și la danturarea cu FMC, deoarece ele permit, a face considerații și cercetări în mod obiectiv pentru diferite calități de materiale de prelucrat în orice combinații (v_{as} , s), și a interpretării cazurilor de apreciere a uzurii.

Cercetări privind v_{opt} pot fi făcute pe baza încercărilor de uzură după curbele $T = f(v_{as})$ sau prin analiza și interpretarea vitezei uzurii radiale, după curbele $v_h = f(v_{as})$. Mărimile optime stabilite pentru v_{as} și care asigură cea mai mare durabilitate a sculei, deci uzură minimă sînt hotărîtoare pentru creșterea preciziei de prelucrare la danturarea cu FMC, de asemenea pentru creșterea eficienței economice, mai ales în condițiile conducerii MDFMC cu CA, prin care viteza de așchiere poate fi permanent variabilă.

3.4. Factorii de influență a intensității uzurii

Cercetările experimentale de laborator și practica industrială /31/, /32/,/33/,/37/,/38/, au pus în evidență factorii de influență asupra intensității uzurii. Luînd în considerare participarea acestora la definirea și evoluția fenomenului uzurii, în cele ce urmează sînt prezentați cei mai importanți dintre aceștia: a. materialul semifabricatului; b. caracteristicile materialului sculei; c. starea tăișurilor FMC; d. valorile parametrilor geometrice ai FMC; e. parametri regimului de așchiere; f. temperatura tăișurilor de flanc a dinților FMC; g. lichidele de răcire-ungere utilizate.

a. Materialul semifabricatului are influență asupra intensității uzurii sculelor așchietoare prin conținutul elementelor de aliere (crom, molibden, wolfram, tantal, titan, etc.), care favorizează formarea carburilor complexe, respectiv măresc caracteristicile abrazive ale materialului de prelucrat.

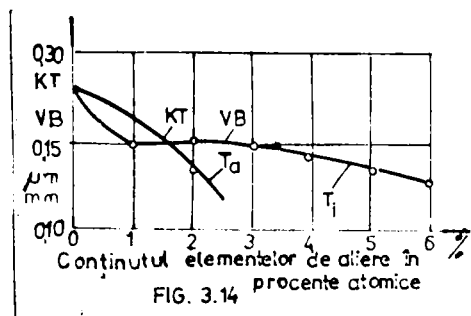


FIG. 3.14

Variația uzurii pentru materiale aliate cu tantal și titan

ra sculelor așchietoare pe fața de degajare (KT), caz în care aliajele cu tantal sînt mai avantajoase decît cele cu titan.

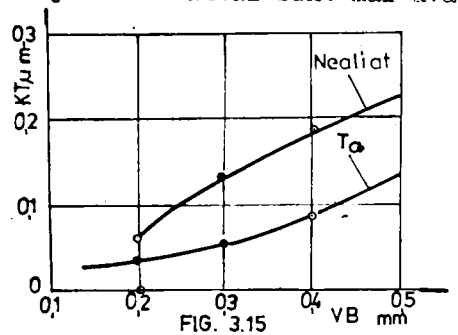


FIG. 3.15

Dependența uzurii KT pentru materiale aliate și nealiate

Cercetările efectuate /32/, /43/, au arătat că la introducerea în aliajul dur K40, a tantalului, are loc o micșorare a intensității uzurii VB, iar introducerea titanului de asemenea reduce intensitatea uzurii KT pe suprafața de degajare, figura 3.14.

Totodată, cu cît concentrația componentelor de aliere este mai mare, cu atît mai mică este uzura

sculelor așchietoare pe fața de degajare (KT) și cea pe fața de așezare VB, în cazul utilizării materialelor aliate cu tantal, respectiv nealiate. Micșorarea uzurii KT la aliajele pe bază de tantal este proporțională cu variația uzurii VB pe suprafața de așezare.

b. Materialul sculei influențează prin compoziția chimică,

structura metalografică, tenacitatea la solicitări dinamice și prin stabilitatea termică a sculelor.

Prezența unor elemente cu tendință de adeziune (cobaltul din aliajele dure) a carburilor dure de Tip W, Ta, etc., respectiv a oxizilor și carburilor de Si, Bo, Al, conduc la creșterea intensității uzurii și micșorarea durabilității sculelor așchietoare. În cazul FMC din oțel rapid, la prelucrarea materialelor dure, are loc și uzura datorită deformației plastice a vârfului sculei.

La prelucrarea cu diferite viteze de așchiere la FMC din oțel rapid, la contactul dintre sculă și așchie se formează un strat alb, ca urmare al procesului de difuziune. Transportul prin difuziune al particulelor de constituenți duri, duce la reducerea în carbon și crom a stratului superficial al sculei, care apoi se degradează datorită deformației plastice și uzurii abrazive.

c. Starea tăișurilor sculei, (în special a rugozității suprafețelor active), se manifestă ca factor de influență odată cu începerea procesului de așchiere, când microasperitățile acestora, se tocesc mai repede în perioada inițială, deci uzura este mai intensă ca urmare a presiunilor mari de contact și a temperaturilor ridicate.

d. Influența parametrilor geometrici ai sculelor așchietoare se manifestă diferențiat. Elemente care să conducă la o interpretare tematică a influenței acestor parametri sînt redată în figura 3.16.

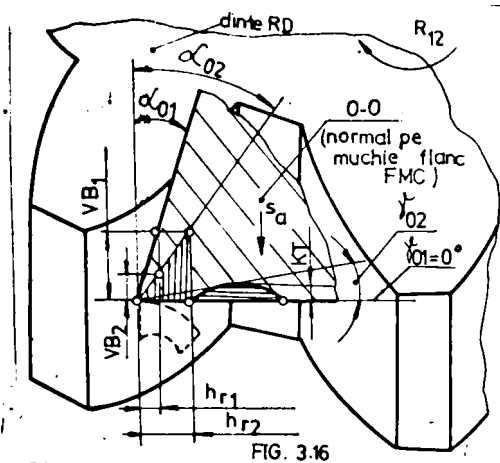


FIG. 3.16

Influența variației unghiului α_0 și ϕ_0 asupra intensității uzurii KT și h_r

toare ale acestuia uzura scade datorită reducerii frecării pe suprafețele de așezare a dintelui sculei. Pentru a se realiza aceiași valori VB, corespunzătoare unui unghi α_0 mai mic, trebuie să se mă-

Astfel, în cazul variației unghiului de degajare ϕ_0 , KT scade pe măsură ce acesta scade de la valori pozitive către valori negative. În același timp lucrul mecanic de așchiere și cantitatea de căldură cresc, iar eforturile unitare de forfecare ζ , înregistrează valori maxime contribuind la erodarea materialului din zona respectivă și accelerarea formării uzurii. Unghiul de așezare determină o influență asupra evoluției uzurii h_r , în sensul că pentru valori crescâ-

rească volumul de material îndepărtat prin uzură, pentru cele două secțiuni transversale A_1 și A_2 , corespunzătoare unghiurilor α_{01} și α_{02} , situație care impune respectarea relației:

$$A_2 \cdot (h_{r2}/\text{tg } \alpha_{02}) > A_1 (h_{r1}/\text{tg } \alpha_{01}) \quad (3.4.27.)$$

Unghiul de atac principal γ_r și de atac secundar γ_r , exercită o influență directă asupra secțiunii transversale a așchiei, cînd $t = \text{const.}$, în sensul creșterii grosimii așchiei și scăderii lățimii acesteia, dacă unghiul γ_r tinde către 90° . Creșterea secțiunii transversale a așchiei conduce la creșterea presiunii de contact dintre suprafețele active și așchie, iar uzura VB și KT crește în intensitate.

Raza vârfului sculei, pentru valori crescătoare, are asupra intensității uzurii, pe de o parte tendințe de scădere, iar pe de altă parte tendințe de creștere, ca urmare a creșterii capacității termice a sculei și a energiei de deformare.

Raza tăișului sculei la valori crescătoare amplifică intensitatea uzurii, deoarece crește cantitatea de căldură dezvoltată și lucrul mecanic de deformare plastică, efect mai evident la cazul tehnologic "Tip 1F", unde sculele au α_0 mici.

Unghiul de înclinare a tăișului sculei λ_T se manifestă diferențiat ca influență asupra evoluției uzurii. Pentru valori negative ale lui λ_T intensitatea uzurii crește (KT), dacă unghiul λ_T este pozitiv, intensitatea uzurii scade, deoarece zona de contact dintre sculă și așchie se mărește, iar presiunea de contact specifică se micșorează.

e. Influența parametrilor regimurilor de așchiere se va trata în mod deosebit în subcapitolul 3.5.

f. Influența temperaturii tăișurilor FMC este datorată în cea mai mare parte /6/, /37/, /46/, vitezei de așchiere. De exemplu dacă $v_{a\dot{s}}$ se dublează, temperatura tăișurilor crește cu 121°C , în timp ce la dublarea avansului ea nu crește decît cu 32°C . La FMC, din oțeluri rapide temperatura crește cu rădăcina pătrată a $v_{a\dot{s}}$ și cu circa $3/8$ din puterea de avans, în timp ce pentru FMC echipate cu carburi metalice valorile corespunzătoare sînt de $1/5$ respectiv $1/7$.

g. Lichidele de răcire-ungere, contribuie la reducerea uzurii sculei, prin reducerea considerabilă a lucrului mecanic de așchiere și a cantității de căldură care apare în planul de forfe-

care al aşchierii, respectiv în zona de contact dintre sculă şi aşchierie.

3.5. Influenţa vitezei de aşchiere şi a avansului

Cercetările efectuate /30/, /38/, au demonstrat că dacă vitezele de aşchiere variază în limite largi, la utilizarea diferitelor scule, dependenţele $T = f(v_{a\dot{s}})$ reprezintă fie o variaţie liniară cu puncte de inflexiune, fie curbe care au puncte maxime.

Analiza influenţei vitezei de aşchiere asupra uzurii sculelor aşchietoare nu poate fi făcută în afara fenomenului ce însoţeşte şi caracterizează cel mai bine aşchieria, temperatura optimă de aşchiere θ_{opt}^0 , corespunzătoare realizării uzurii minime.

Temperatură optimă de contact, θ_{oc} , după cum se ştie /38/, este temperatura de contact corespunzătoare dureabilităţii maxime, sau ceea ce este acelaşi lucru vitezei minime a uzurii FMC.

Temperatura optimă de aşchiere θ_{opt} , este deci cea corespunzătoare uzurii relative minime ($SKV_{rel\ min}$, $VB_{rel\ min}$, $KT_{rel\ min}$). În acest sens în teoria aşchierii se operează cu funcţiile (de exemplu) $v_{SKV} = f(v_{a\dot{s}})$, $SKV_{rel} = f(v_{a\dot{s}})$ şi $T = f(v_{a\dot{s}})$, pentru care se urmăresc minimele pentru primele două funcţii, de diferite viteze de aşchiere pentru un avans dat.

Pentru determinarea vitezei de aşchiere corespunzătoare durabilităţii maxime a sculei, v_T , sau a vitezei $v_{SKV\ min}$, este necesar ca prima derivată a acesteia funcţie de $v_{a\dot{s}}$ să fie egală cu zero dacă $v_{SKV} = SKV_{rel} \cdot v_{a\dot{s}}/1000$, în $\mu\text{m}/\text{min}$, atunci:

$$(3.5.28.)$$

$$(v_{SKV})'_{v_{a\dot{s}}} = 1/1000 [v_{a\dot{s}} (SKV_{rel})'_{v_{a\dot{s}}} + SKV_{rel}] = 0,$$

rezultă că pentru a avea v_T trebuie să avem respectată condiţia:

$$v_T (SKV_{rel})'_{v_{a\dot{s}}} + SKV_{rel} = 0, \quad (3.5.29.)$$

$$\text{sau } v_T = -SKV_{rel} / (SKV_{rel})'_{v_{a\dot{s}}} \quad (3.5.30.)$$

Avînd în vedere că v_T şi SKV_{rel} , sînt întotdeauna mărimi pozitive, atunci condiţia 3.5.30. este respectată numai în cazul $(SKV_{rel})'_{v_{a\dot{s}}} < 0$, ceea ce este posibil numai pentru ramura descrescătoare din stînga curbei $SKV_{rel} = f(v_{a\dot{s}})$, figura 3.17. Ca urmare viteza de aşchiere v_T se află pe ramificaţia din stînga curbei şi

de aceea este întotdeauna justificată inegalitatea $v_T < v_{opt}$. În experiențele efectuate /38/, s-au utilizat scule echipate cu plăcuțe K40. În figura 3.17. se observă că funcțiile $T = f(v_{aș})$,

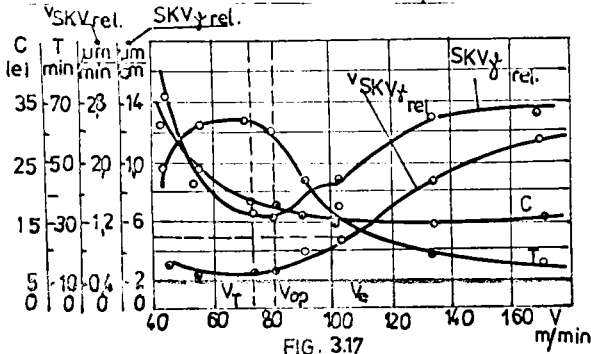


FIG. 3.17

$v_{SKV} = f(v_{aș})$, au un caracter extrem la viteze de așchiere, corespunzătoare temperaturii raționale de contact θ_{oc} , se observă de asemenea un minim pentru v_{SKV} și un maxim al lui T . Maximul durabilității T și minimumul lui v_{SKV} , corespunde vitezei opt-

Influența $v_{aș}$ asupra evoluției uzurii SKV_{rel} , T și a costului prelucrării C

time de așchiere v_{opt} , care corespunde cu temperatura optimă θ_{opt} .

Pentru viteza economică de așchiere v_e , corespunzătoare profitului de cost minim C , viteza de așchiere v_{opt} și viteza economică de așchiere v_T , (corespunzătoare durabilității maxime T_{max}), în general este justificată inegalitatea: $v_e > v_{opt} > v_T$. (3.5.31.)

Din analiza și a altor cazuri de așchiere, se desprinde ideea că poate fi luată ca bază de stabilire a combinațiilor optime (v, s) , studiul dependențelor $SKV_{rel} = f(v_{aș})$, (sau $h_{rr} = f(v_{aș})$) $v_{SKV} = f(v_{aș})$, (sau $v_h = f(v_{aș})$ și nu $T = f(v_{aș})$), deși aceasta din urmă a fost folosită în studiul așchierii, cel mai adesea.

Calcululele efectuate pentru diferite cazuri reale, combinații de material și construcții de scule așchietoare (mai puțin pentru FMC) arată că viteza economică a (diferitelor) uzurii, v_{eSKV} , este practic o mărime constantă egală cu $1 \mu m/min$.

Constanța mărimii v_{eSKV} , permite determinarea rapidă a vitezei v_{SKV} , din graficele $v_{SKV} = f(v_{aș})$, $SKV_{rel} = f(v_{aș})$, fără calcule complicate pentru care trebuie să se verifice doar relația:

$$v_e = 1000 \cdot v_{eSKV} / SKV_{rel} \text{ g.s} \quad [m/min] \quad (3.5.32.)$$

Toate aceste modele de cercetare și rezultate, prezentate mai înainte, au fost în marea lor majoritate elaborate pentru

rocedee de aşchiere cu scule din familia cuţitelor de strung. Metodica a fost extinsă şi aplicată şi la operaţiile de frezare, aropiate ca mod de desfăşurare cu danturarea RDC cu FMC, dar unde vident altele sînt datele problemei. În scopul precizării şi modelării bazei tehnologice de stabilire a relaţiilor de calcul pentru v_{ag} şi în cazul danturării cu FMC, se impune analiza acestor etape de cercetare pentru cazul frezării.

Studii privind influenţa lui v_{ag} şi s_d , asupra evoluţiei uzurii relative de suprafaţă h_{rs} , au fost efectuate /38/, pentru reze echipate cu un dinte pentru frezarea oţelului din familia 4CrMo4. S-a adoptat varianta cu un dinte pentru a elimina influenţa ătaţii radiale a dinţilor asupra măsurătorilor de uzură.

În cazul frezării mărimea uzurii relative de suprafaţă h_{rs} se poate determina utilizînd relaţia:

$$h_{rs} = 10^5 (h_r - h_{r1}) / (L - l_1) \cdot B \quad [\mu\text{m}/10^3 \cdot \text{cm}^2], \quad (3.5.33.)$$

în care: h_r - mărimea finală a uzurii măsurate a dintelui frezei, în μm ;

h_{r1} - uzura iniţială a dintelui frezei, în μm ;

L - lungimea generală a suprafeţei frezate, în mm;

l_1 - lungimea iniţială a suprafeţei frezate, în mm;

B - lăţimea suprafeţei frezate, în mm;

În urma cercetărilor de laborator /38/, s-au ridicat graficele de variaţie a uzurii h_{rs} şi coeficientului de contracţie al aşchii γ , funcţie de v_{ag} pentru $s = \text{const.}$, figura 3.18., a căror analiză arată că pentru toate avansurile cu creşterea lui v_{ag} , h_{rs} , mai întîi scade iar apoi atingînd minimumul pentru v_{opt} , începe să crească.

Cercetările au evidenţiat, de asemenea, şi în acest caz, că tuturor punctelor de minimum pentru $h_{rs} = f(v_{ag})$, obţinute la s_d diferite, le corespunde una şi aceeaşi temperatură optimă θ_{opt}^0 , (E), de aşchiere fapt care are o valoare ştiinţifică deosebită în scopul generalizării teoriei desfăşurării fenomenelor fizice, care condiţionează evoluţia uzurii pentru diferite operaţii de aşchiere

Analizîndu-se interdependenţa factorilor, s_d , v_{opt} , h_{rs} , aceştia pot fi exprimaţi prin ecuaţii parametrice specifice procesului de frezare /44/, /45/, după cum urmează:

$$v_{opt} = C_1 / s_d^{x_1} = 54,3 / s_d^{0,37} \quad [\text{m}/\text{min}] \quad (3.5.34.)$$

$$h_{rs} = C_2/s_d^{x_2} = 37,6 / s_d^{0,62} \quad \left[\frac{\mu\text{m}}{10^3 \cdot \text{cm}^2} \right] \quad (3.5.35.)$$

Din figura 3.18., se poate observa că pentru $v_{a\dot{s}} > v_{opt}$, se produce o stabilizare a coeficientului de contracție a așchiei,

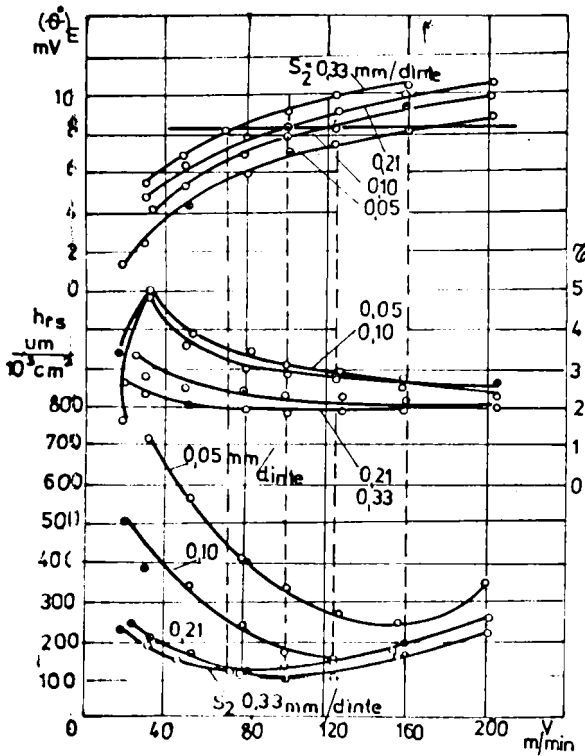


FIG. 3.18

deoarece la $\theta^0 = \text{const}$ scurtarea așchii se accentuează, fiind una din cauzele micșorării lui h_{rs} . Aceste considerații sînt susținute și de argumentul că pentru aceleași $v_{a\dot{s}}$ se obține minim pentru h_{rs} și R_z , cum este de altfel și normal, figura 3.19.

În consecință se poate preciza că fiecărei valori a uzurii h_{rs} măsurate și luate în calitate de limită de uzură, îi corespunde una și aceeași mărime a lui v_{opt} . Curbele $h_{rs} = f(v_{a\dot{s}})$ de $v_{a\dot{s}}$, obținute din care se poate calcula h_r în mod practic pot fi unite prin una sin-

Influența $v_{a\dot{s}}$ asupra variației temperaturii θ^0 (E), coeficientului și uzurii h_{rs}

gură. În concluzie pentru frezare și deci pentru danturarea cu FMC, cel puțin aproximativ, se pot preciza următoarele aspecte:

- în punctele de minim ale curbelor $h_{rs} = f(v_{a\dot{s}})$, obținute pentru s_d diferit, se obține $\theta^0 = \text{const.}$;
- creșterea avansului pe dinte (s_d), prin păstrarea constantă a lui θ^0 (pe baza scăderii corespunzătoare a lui $v_{a\dot{s}}$) duce la scăderea lui h_{rs} , deci la creșterea lui T ;
- dependența uzurii $h_{rs} = f(l)$ are un caracter linear lu-

cru care permite să se găsească dependențele $h_{rs} = f(v_{aș})$ și să se determine v_{opt} și $h_{rs opt}$, pe baza scurtării experiențelor, evitând

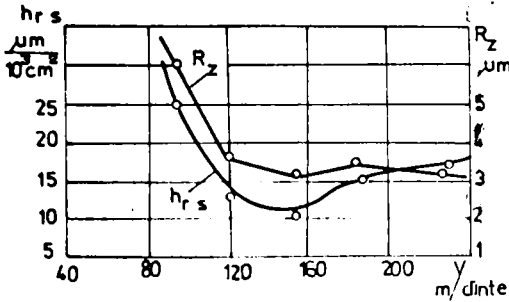


FIG. 319

Influența variației $v_{aș}$ asupra lui h_{rs} și R_z la frezare

lemente de referință în orientarea cercetărilor în prezenta lucrare, pentru cazul MDFMC cu CA a avansului, existentă în producție în Întreprinderea Mecanică Cugir. În acest sens pe baza cercetărilor efectuate se vor stabili bazele tehnologice a elaborării expresiilor pentru $v_{aș}$ în condițiile MDFMC cu CA a avansului.

distrugerea sculei;

- viteza de așchiere v_{opt} , corespunde pentru $h_{rs opt}$ și R_z optim;

- vitezei v_{opt} , pentru frezarea materialelor rezistente la temperaturi înalte și corespunde de asemenea v_g care asigură cel mai mic preț de cost sau capacitate de producție maximă;

Definiriile precum și expresiile precizate pentru uzură în acest capitol, constituie e-

4. INSTALATII SI SISTEME PENTRU CONTROLUL SI MASURAREA UZURII FREZELOR-MELC CILINDRICE

4.1. Generalități

În marea lor majoritate sistemele și metodele cunoscute, de măsurare și control /8/, /9/, /63/, /64/, /65/, sînt concepute pentru a verifica îndeplinirea condițiilor ce se impun prin execuție (sau funcțional), unor componente, subansamble sau ansamble luate ca atare. Principial diferite mărimi determinante /9/, ale produselor tehnicii (sau obiectiv de controlat), pot fi verificate înainte de -, în timpul - și după prelucrare. Aceste posibilități diferite în timp sînt valabile și pentru cazul controlului și măsurării uzurii frezelor-melc.

Prin cerințe de obiectivizare și de automatizare a supravegherii calității execuției, a creșterii preciziei dimensiunii și formei geometrice, în contextul severității calitative și dezvoltării în viitor a SPS, în ultimii ani controlul uzurii sculelor pe MU, s-a deplasat pregnant de la formele "în afara procesului" la cele "în"-, sau cu implicații asupra procesului.

Considerațiile privind limitele aplicării procedului controlului uzurii PMC, în timpul procesului așchierii, au fost pe larg expuse în capitolul 1, cu care ocazie s-a formulat și concretizat necesitatea cercetărilor din prezenta lucrare, în vederea stabilirii unor relații de calcul a v_{ag} , aplicabile pe MU cu CA.

Pentru a efectua o măsurare (indiferent de calitatea acesteia), este absolut necesară prezența a trei factori determinanți: obiectul de măsurat (sau elementul), mijlocul de măsurare și sistemul de informare (receptorul).

Obiectul de măsurat (OBM), este purtătorul semnalului (sau funcției) de intrare S_i , spre mijlocul de măsurare (MMR), care după o anumită strategie de prelucrare (a informației) livrează sistemului de informare (afișare) semnalul de ieșire S_e , care de fapt, reprezintă valoarea măsurată.

În toate cazurile de măsurare (indiferent de metodă) S_e , este influențat de surse perturbatoare, fapt ce determină abateri de la valoarea mărimii de măsurat, din care motiv aceasta (S_e) trebuie prelucrată după anumite reguli. Semnalele de prelucrat, (operante în sistemele de măsurare) se știe că se împart în func-

ție de conținutul informațional, în analoge și discrete.

Literatura de specialitate în domeniul mijloacelor și metodelor de măsurare, utilizează o terminologie specifică, legată îndeosebi de volumul de informații și de caracterul acestora, după cum ar fi: mijloace de măsurare, aparate de măsurare, instalații de măsurare și sisteme de măsurare.

4.2. Metode și mijloace cunoscute, de măsurare a uzurii

În practica industrială, sau în cercetarea de laborator sînt numeroase cazurile care reclamă utilizarea unor metode și mijloace de măsurare a uzurii (sau indirect prin controlul geometriei și construcției sculelor) sculelor așchietoare /3/, /5/, /8/, /9/, /10/, /19/, /32/, /34/, /38/, /49/, /58/, /62/, /65/, orientate în general pe două direcții:

- utilizarea informațiilor asupra evoluției uzurii sculelor, la conducerea nemijlocită a procesului de așchiere, (mai ales în cazul compensării uzurii sculei);

- utilizarea informațiilor asupra evoluției uzurii sculelor, la stabilirea unor strategii de optimizare, fie a construcției sculelor, fie a regimurilor de așchiere prin SCA pe MU.

În aceste condiții, plecînd de la situația cunoscută, pentru sculele așchietoare în general, se pot preciza două metode de utilizare a mijloacelor de măsurare (sau sistemelor), în cazul FMC, adică:

a. metode directe; b. metode indirecte.

a. Metode directe:

a.I. cîntărirea înainte și după (succesiv), a FMC, în scopul stabilirii masei de material prelevat prin uzură;

a.II. măsurarea efectivă a porțiunii uzate a dintelui sculei pe fața A_x sau A_y (de exemplu cu ajutorul microscopului de atelier sau cu alte mijloace: mecanice, electromecanice, etc.).

b. Metode indirecte, care au la bază măsurarea uzurii prin înregistrarea efectelor acestora, asupra variației dimensionale a preciziei impuse piesei, sau a unor mărimi a așchierii cum sînt: forța de așchiere, temperatura în zona așchierii, vibrațiile în STE, etc.

a. Metode directe.

a.I. Utilizarea metodei cîntării înainte și după (succesiv) a FMC, nu dă indicații decît grosiere, asupra evoluției uzurii. De fapt, această metodă nu poate conduce la stabilirea legilor dezvoltării uzurii, pentru că informațiile obținute sînt globale. Nu se precizează locul și mărimea uzurii, evoluția dimensională a acesteia

și mai ales care sînt muchiile sau suprafețele (A_{α} sau A) uzate, într-un anumit fel. Față de aceste neajunsuri, mai trebuie adăugat că sînt probleme /52/, /61/, legate de spălarea și uscarea riguroasă a FMC, montarea și demontarea acestora din lagărele FMC și cîntărirea pe o balanță analitică.

În cazul prelucrărilor de precizie și al necesității stabilirii bazelor tehnologice a conducerii MU cu CA, utilizînd această metodă nu se pot formula legi calitative a evoluției uzurii FMC, deci metoda este neeficientă pentru scopul urmărit în prezenta lucrare.

a.II. Măsurarea efectivă a porțiunii uzate a dintelui FMC, este cea mai utilizată metodă (pentru scule în general), de fapt, majoritatea lucrărilor de specialitate /19/, /32/, /34/, /38/, /54/, abordează această metodică, fiecare cu specificul ei.

De fapt, în acest caz se poate vorbi despre trei situații, pentru măsurători și anume: măsurarea de suprafață a porțiunii uzate a dintelui sculei, măsurarea la lungime a porțiunii uzate ($VB, B_{\alpha}, B_{\beta}, SKV_{\alpha}, SKV_{\beta}, KM$), și măsurarea de adîncime a porțiunii uzate (KT, h_r).

Pentru cazul măsurătorilor de suprafață și de lungime a porțiunii uzate a dintelui sculei, se utilizează microscopul de atelier, care este un aparat de măsurare de mare precizie. Informațiile obținute pe această cale sînt riguroase și așa cum s-a procedat și în prezenta lucrare, pot fi utilizate la formularea legilor de variație a uzurii FMC (sau a altor scule).

Măsurători pentru adîncimea de uzură (a craterului KB), fie pe suprafața A_{α} , fie $A_{\beta}(h_r)$, sînt de asemenea larg utilizate în domeniul sculelor așchietoare /19/, /32/, /38/, /54/, și mai rar pînă acum pentru FMC /34/, /54/. Pentru acest caz al măsurătorilor de uzură (efective), în literatura de specialitate /34/, /38/, sînt cunoscute metode, aparate și instalații, dar care sînt concepute și aplicate pentru controlul frezelor în general și al FMC în special, pentru care s-a adoptat o construcție anume, figura 4.1., adică cu un dinte. Acest mod de construcție al sculei este datorat condițiilor impuse la determinarea uzurii, adică eliminarea influențelor bătăii radiale a dinților frezelor controlate.

Aceste metode, de cercetare (în general), a uzurii frezelor prezintă marele neajuns că nu oferă informații asupra evoluției uzurii, raportate la condițiile reale ale apariției și dezvoltării acestora. Este vorba de fapt despre cazul concret al danturării

cu FM, care impune pentru o cercetare realistă, în scopul stabilirii bazelor tehnologice ale CA, studiul uzurii în condițiile unei

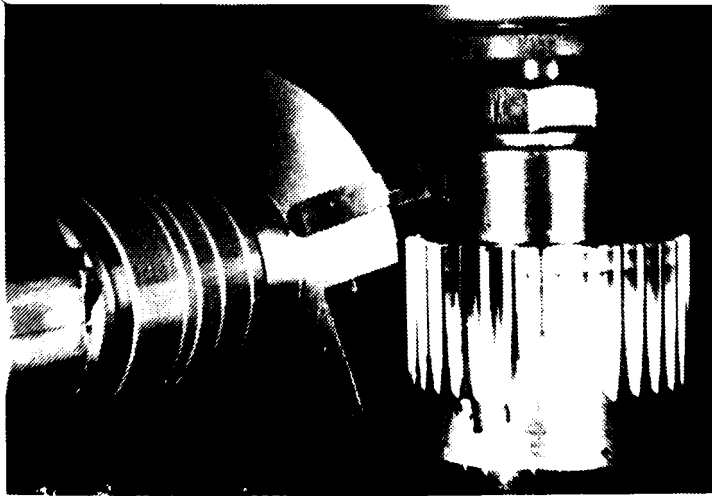


Fig.4.1. Model de FMC pentru studiul uzurii pe dinte

FMC reale, nu de simulare (fig.4.1.), care prezintă o uzură în condițiile respectării legilor danturării (angrenării), pentru RD.

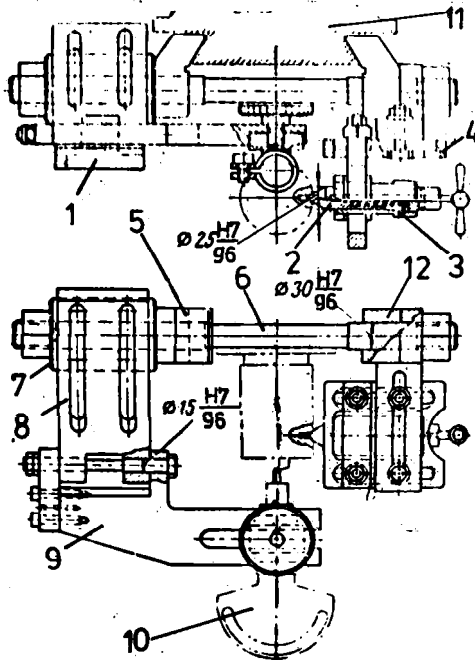


Fig.4.2. Aparat pentru controlul uzurii frezelor

Pentru modelica de lucru prezentată /34/, /38/, s-a elaborat un aparat pentru controlul uzurii frezelor, fig. 4.2., care utilizează drept instrument de măsură un ortotest 1. Pentru a asigura precizia determinărilor, în condițiile repetabilității acestora, se folosește un corp de divizare prin care opritorul 2 va realiza în condițiile instalării frezei pentru măsurare, poziția corectă a acesteia, față de poziția inițială luată ca zero la ortotestul 1. Ortotestul este instalat pe placa rabatabilă 9, prin intermediul sistemului re-

glabil (dimensional) grosier 8 și prin buca 7 pe coloana generală 6 a aparatului. Intregul aparat se instalează cu ajutorul clemelor 5, în locașul practicat în placa de bază 11, care asigură stabilitatea întregului sistem. Blocul de divizare 3, de asemenea se poate instala pe coloana 6 cu ajutorul plăcilor 4 și buștelor 12, cu ajustaj alunecător, reglabil funcție de diametrul FM ca și în cazul ortotestului 10, după care se poate pune la zero pentru începerea măsurătorilor de uzură pe dințele FM.

În condițiile utilizării acestui procedeu și aparat de control, pot fi precizate următoarele neajunsuri, legate de precizia măsurătorilor, și anume:

- apariția erorilor de măsurare datorate alogerii bazelor de înaltare materializate de aluzajul frezei și diametrul exterior al dornului de fixare și datorită cumulării abaterilor de execuție și a jocului necesar realizării ajustajului freză-dorn de control;

- apariția erorilor de măsurare datorate procedurii ales pentru divizarea și orientarea FM în timpul măsurătorilor, prin cumularea erorilor proprii la folosirea repetată;

- în cazul apariției uzurii normale s-au accidentale care reclamă reascuțirea și mai ales înlocuirea dintelui, în vederea continuării cercetărilor pentru același caz dat (de FM), sînt imposibile reproducerea condițiilor inițiale pentru dimensiunile de montaj și geometria dintelui (prin instalare);

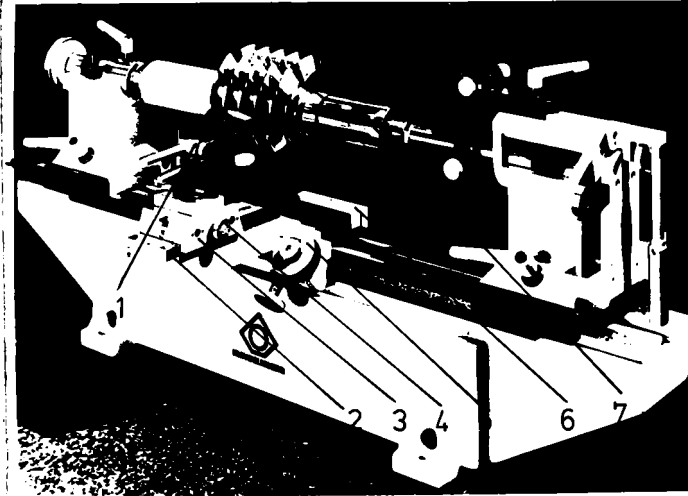
- legile și condițiile uzurii nu corespund datelor reale în care ar trebui să se producă acestea, de fapt pentru o sculă reală (nu model de simulare);

- cel mai important neajuns este acela legat de faptul că freza se va demonta și monta pe dorn de lucru în vederea desfășurării măsurătorilor sau a prelucrărilor, fapt ce determină schimbarea bazelor tehnologice de prelucrare și control.

Pentru acest caz al măsurătorilor de adîncime a uzurii (K_T, h_r), de asemenea se pot utiliza instalațiile elaborate de firma KLINGELNBERG, care de fapt sînt destinate în principal controlului de precizie al frezei melc, figura 4.3.

Așa după cum se vede în figura 4.3., acest sistem oferă posibilitatea (de data aceasta), instalării FMC așa cum este ea montată pe dorn în vederea prelucrării RD. Acest mod de instalare între vîrfuri oferă posibilitatea determinărilor fie a preciziei geometrice, fie a determinărilor de uzură a dintelui FMC, cu ajutorul comparatoarelor clasice, pentru adîncimea craterului uzurii K_T , sau

a uzurii radiale h_r . Sania 6, cu deplasare longitudinală poate fi blocată cu ajutorul butonului 5, pentru cota de măsurare stabilită



sau unerea la zero în vederea controlului uzurii. Sania transversală 3, poate fi deplasată în direcția dinților FMC cu ajutorul sistemului pinion-cremalieră 4, după care se blochează la cota de zero. Placa 2 servește drept element de ghidare (orientare) pentru sania 3.

Fig.4.3. Instalație pentru controlul geometriei și uzurii FMC

Comparatorul 10, cu accesoriile sale (9,11,12), se va instala la cota de zero ca în figura 4.4., cu ajutorul opritorului mecanic 12, care asigură cursa maximă a tijeii palpator 11, în contact cu suprafața de degajare a dintelui FMC 8. În vederea desfășurării

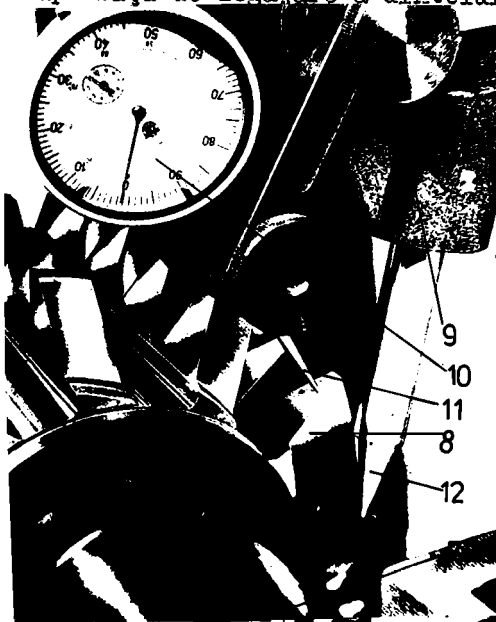


Fig.4.4. Mod de instalare a comparatorului pe dintele FMC

operărilor, FMC montată pe dorul port-sculă (așa cum de fapt danturează) se va instala între virfuri în aparatul de control. Operația imediat următoare este de punere la zero a comparatorului după procedeele din figura 4.4., adică: palpatorul limitatorului mecanic 12, se va instala pe fața de degajare a unui dinte, în care mod de fapt se stabilește poziția de zero a dintelui 8 pentru care se fac măsurători de uzură. În continuare se va asigura cursa maximă, (încărcarea), pentru comparatorul 10 pe palpatorul 11, reglabil de asemenea fiind la

butonul 9, urmînd ca efectiv comparatorul lo să se pună la zero pe cadranul său. După efectuarea operației de punere la zero, FM cu dornul portsculă se va instala pe MDFMC, în vederea danturării unui lot determinat de piese, după care se va demonta și instala în aparatul de control după metodica mai sus expusă. În vederea efectuării măsurătorilor de uzură, FM (montată pe dorn) se rotește pînă la contactul dintelui 8 cu palpatorul 12 (figura 4.4.), timp în care dintele ia contact cu palpatorul 11 care va afișa la comparatorul lo, valoarea uzurii KT, după care se reia danturarea prin demontarea și montarea FM pe MU pentru un nou lot de piese.

Pentru acest mod de lucru (și aparat), se poate reține ca un mare neajuns, faptul că determinările se fac față de axa dornului portsculă (materializată prin montarea între vîrfuri), care introduce erori de măsurare datorate acestui mod de instalare.

Erorile, care conduc la modificarea rezultatelor măsurătorilor sînt datorate deosebirilor evidente între modul de instalare al FMC pe MU (în lagăre) și cel din dispozitivul de control (între vîrfuri). În același timp tot datorită acestui mod de instalare al FM în vederea măsurătorilor, acestea în cazul uzurii vor fi influențate de bătaia radială a dintelui.

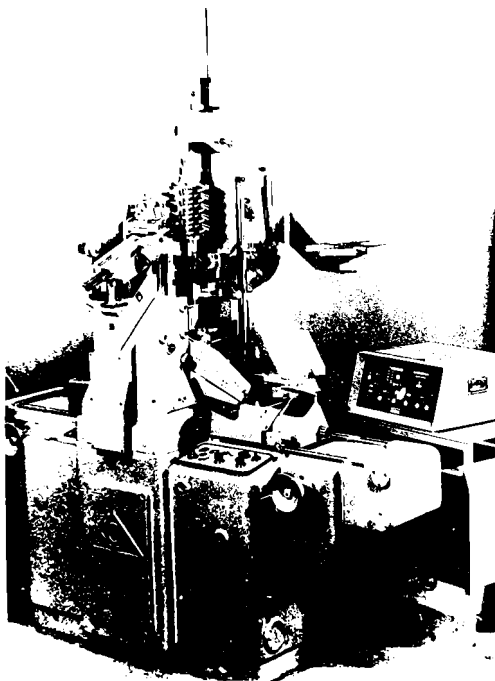


Fig.4.5. Sistem pentru controlul automat al profilului dintelui FM

Tot firma KLINGELNBERG a elaborat un sistem de control și măsură a elementelor de profil și geometrie a dintelui FM, îndeosebi pentru controlul profilului evolventic al dintelui, tip PWF 300, figura 4.5. Sistemul este dotat cu echipamente care pot efectua înregistrarea profilului dintelui FM, care oferă posibilitatea aprecierii și interpretării fie a preciziei profilului dintelui, sau mărimii uzurii pe tăișul dintelui. Elemen-

tele traductoare sînt de tipul inductiv , prevăzute cu sisteme de instalare mecanice în vederea efectuării măsurătorilor, ca în figura 4.6. Prezentarea acestui model de sistem de control a elementelor geometrice a dintelui FM, este făcută și din considerentul de a oferi elemente de comparare și argumentare științifică a modului de rezolvare a soluției constructive pentru ștandul proiectat și elaborat în prezenta lucrare, pentru controlul uzurii FMC.

După cum se vede din figura 4.6.,elementul traductor 7 (în

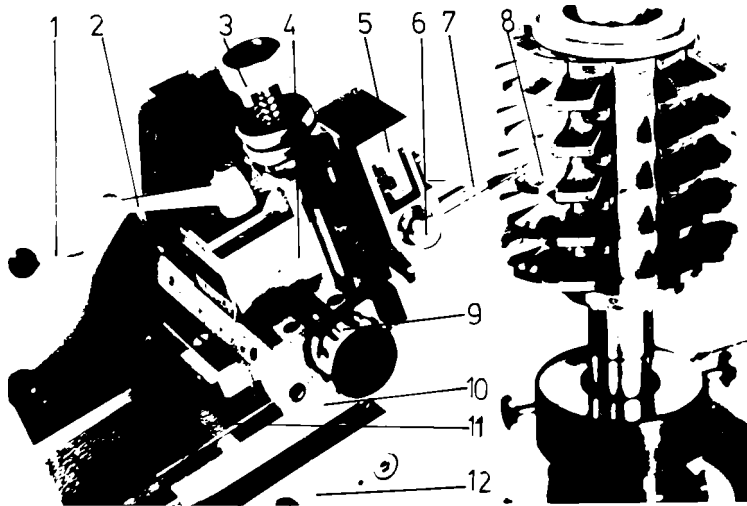


Fig.4.6. Sistem de instalare a traductorului de măsurare,al mașinii de control PWF 300

construcție inductivă) se va instala în poziția de măsurare (de zero pentru cazul inițial și apoi pentru determinări) cu ajutorul saniei 11 (grosier) blocabilă cu ajutorul butonului 1. Poziționarea traductorului 7, față de dinte se va face cu ajutorul saniei 4 de la butonul 9 cu șurub cu pas fin și blocabilă de la butonul 2. Pentru realizarea încărcării traductorului 7, se va utiliza senia verticală 5 ajustabilă cu ajutorul șurubului cu pas fin 3, reglarea de precizie urmînd a se realiza de la butonul 6, integrat în sania verticală 5.

După cum se vede și în acest caz, elementele de control se vor referi tot la axa imaginată a FM, materializată de dornul 8, care va roti FM, 8 după o lege a mișcării stabilită funcție de profilul dintelui, prin elementele specifice din construcția mașinii, cu ajutorul antrenorului 9. Acest fapt evidențiază de asemenea posibilitatea introducerii erorilor de determinare în cazul uzurii dintelui, tocmai datorită alegerii necorespunzătoare a bazelor de referință

în cazul instalării în vederea controlului (între virfuri) și în lagărele MDFMC, în cazul danturării.

Metode indirecte. Aceste metode sînt printre cele mai evoluat, uneori acestea se confundă cu sistemele operaționale (CN, CNC, CA), ale MU. Analizînd datele din literatura de specialitate legate de aceste metode de determinare a uzurii, ele pot fi de asemenea sistematizate după mai multe direcții, funcție de nivelul lor de evoluția, adică:

b.I. sisteme de control activ cu compensarea uzurii sculei, prin determinări ale impreciziei de execuție a piesei;

b.II. sisteme de control activ al uzurii SC, integrate /3/, /5/, /49/, /58/, /66/, în sistemele componente ale MU;

b.III. sisteme de compensare a uzurii FM, pentru MDFM cu CN.

b.I. Sisteme de control activ, cu compensarea uzurii /9 /, FM la dinte (prin stabilirea abaterilor dimensionale a RD) la dan-

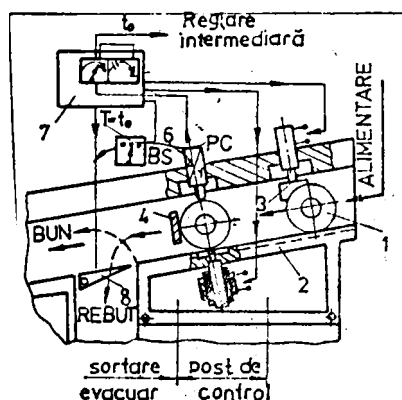


Fig. 4.7. Schema de principiu pentru un sistem de control activ al FM

tu are sîm. în ma ea lo majoritave postoperaționale, adică informațiile legate de uzura FM, sînt stabilite periodic în afara procesului, prin măsurători efectuate asupra RD, îndeosebi pentru diametre de divizare, figura 4.7. Un astfel de sistem de control al uzurii FM (indirect) este compus din blocul de alimentare, în care este condusă RD, după prelucrare prin eliberarea electromagnetului 3 și oprită în poziție de control cu opritorul 4, după care în golul dinților (opuși), pătrunde un traductor 6 care furnizează blocului 7 de analiză, informații. Blocul 7, stabilește prin compararea informației (dimensiunea la contactul traductorului cu flancurile dintelui, pe diametrul de divizare al RD), față de o mărime de referință a diametrului de divizare, stabilită pentru o roată etalon, mărimea de reglare intermediară, la adîncimea de pătrunere pentru sania radială a MDFM, funcție de mărimea uzurii FM. Prin acest control, se stabilește de fapt după cum se vede din figura 4.7. și dacă piesa este bună sau rebut, prdonînd pentru calea de evacuare deschiderca uneia sau alteia dintre căile de rostogolire liberă a RD. Sistemul astfel expus /9/, este

de fapt inactiv, pentru că trebuie să remarcăm că nu poate stabili date despre evoluția uzurii decât cu consum mare de timp, cu dotări suplimentare și auxiliare MDFM și oricum toate informațiile se obțin după ce s-a instalat starea de uzură, despre care nu se poate spune în ce stadiu a evoluției este.

b.II. Stabilirea evoluției uzurii FM prin analiza efectelor acesteia cu ajutorul sistemelor de control integrate în construcția unor componente a MU, asupra variației diferitelor mărimi specifice așchierii (temperatura de așchiere, forța de așchiere, nivelul de vibrații în STE, etc.), are la bază un "regim de învățare". Pentru un parametru stabilit ca mărime de referință (temperatura, forțele de așchiere, etc.), se face în cazul sculei noi, determinarea valorilor acestuia (de referință), care sînt introduse în microcalculatorul MU, în care sînt incluse diferite moduri de informare a acestuia, tructoare adecvate, /3/, /5/, /49/, /58/, și elemente care să asigure prelucrarea electronică a semnalelor primite de la aceste traductoare. Prelucrarea informațiilor (a valorilor mărimilor de referință), primite de la traductoarele din sistem se face după o strategie specifică fiecărei construcții de MU și microcalculator, care specific determină în acest fel pentru MU posibilitățile și gradul de siguranță al sistemului elaborat. Cu alte cuvinte, dacă aceste sisteme se referă doar la supravegherea stării de uzură a sculei sau și la protecția sculei și asigurarea condițiilor de precizie pentru prelucrarea pieselor și a durabilității maxime a sculei.

În /49/, /58/ sînt prezentate realizările cele mai recente (pînă în 1987), în domeniul construcției de MDFM echipate cu sisteme de control (indirect) al uzurii FM și pentru alte MU în general. Din informațiile prezentate /58/, rezultă că doar firmele Niigata, Osaka Kika, Mitsui Seiki, Hitachi Seiki, oferă la cerere MU, echipate, cu CA cu reglarea avansului utilizînd echipamente de control al uzurii FM (indirect), și stabilirea strategiei de conducere a CA pe baza cunoașterii în acest fel a evoluției uzurii FM. În Europa, doar firma B&B poate livra la cerere MU echipate cu CA, care au incluse sisteme de control a evoluției uzurii, pe baza căreia să se stabilească strategia de conducere a CA. În /49/, de asemenea sînt prezentate realizările firmei Gleason din SUA, care a realizat o celulă flexibilă de fabricație echipată cu MDFM, cu CNC care are în compunerea MDFM sisteme de măsurare a uzurii (incluse), pe baza determinărilor indirecte acesteia. Mașina de denturat cu freză melc, model ZFWF 03CNC, din SUA este de asemenea prevăzută cu sistem de control al uzurii FM, des-

care se precizează că este cu compensarea uzurii FK , fără a se face precizări despre modul de lucru, de altfel o noutate absolută în domeniul danturării cu FK .

Un exemplu de sistem de compensare a uzurii sculelor, prin măsurarea efectelor acesteia, față de diverse mărimi ale așchierii este și echipamentul "Sandvik Autocomp", al firmei Sandvik Coromant-Marposs, utilizat în cazul operațiilor de prelucrare pe KU din familia strungurilor și mașinilor de frezat și alezat orizontal.

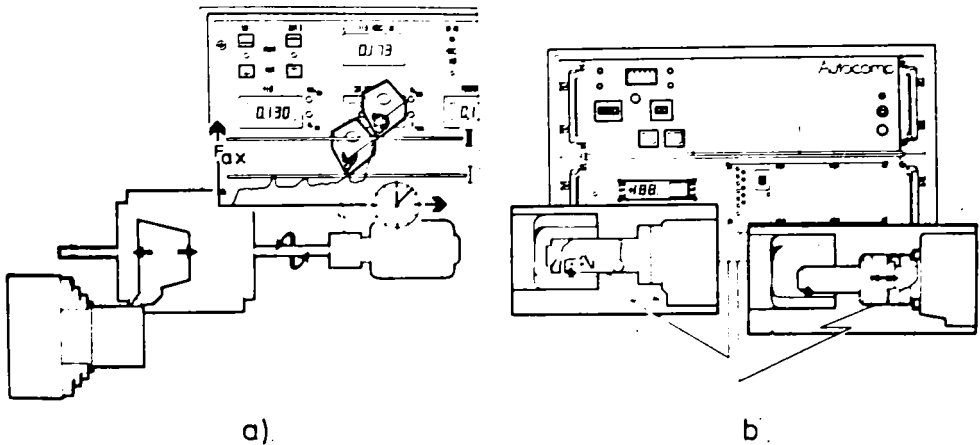


Fig.4.8. Sistem de compensare a uzurii sculei, prin controlul forței axiale, în proces

Sistemul prezentat în figura 4.8. se bazează pe măsurarea variației forței axiale la prelucrare, (este deci precizată F_{ax} ca mărime de referință), fiind format din două unități electronice:

- unitatea de stabilire a variației F_{ax} , care conține un traductor de forță (pentru ambele senzuri) și elemente de conectare la unitatea de comandă;
- unitatea de comandă compusă din microprocesor și motor pas cu pas, cu preselecție incrementală.

Sistemul permite compensarea uzurii și controlul instalării tăișului sculei la trecerea curentă sau ulterioară, este de fapt un sistem de supraveghere a stării uzurii sculei, care corectează automat erorile apărute în timpul lucrului.

În figura 4.8. b, se prezintă soluția constructivă pentru implementarea traductorului de forță, în cazul sculelor de alezat, diametre mari (în construcția portsculei), și diametre mici (în sistemul de instalare propriu-zis a plăcuței așchietoare). Soluția

constructivă aleasă este așa cum se vede electromecanică.

Aceste metode mai sus prezentate, deși după cum s-a văzut dispun de cele mai evaluate sisteme de supraveghere și control a uzurii, au toate aceleași limite în domeniu. Este vorba despre faptul că toate recurg la căi indirecte de informare (asupra uzurii), și despre care se poate spune că nu totdeauna informațiile furnizate (abateri de la măsurimile de referință), sînt datorate numai evoluției uzurii sculei. De fapt, la creșterea sau descreșterea F_{ag} , M_t , și a altor mărimi ale așchierii, contribuie o multitudine de factori, simultani, în proces și despre care cu greu se poate spune care este partea de contribuție pentru evoluția uzurii sculei pe MU.

Tocmai de aceea se desprinde necesitatea ca legile uzurii mai ales în cazul danturării cu FM, să fie stabilite pentru parametri așchierii care au o influență directă asupra uzurii și care pot fi controlați cu precizie în sistem (CA), cazul v_{ag} , instalabile cel mai corect pe MDFM prin CA a acesteia.

b.III. Sistemele de compensare a uzurii FMC, pentru MDFMC cu CN, reprezintă soluții rezolvabile în prealabil, la stabilirea programului pentru sistemul CN al MU. În acest fel programatorul, prevede la un timp anumit, deplasări discrete ale sculei (în cazul FMC, numai pentru masa radială a MDFM), care ar trebui să compenseze eventualele abateri la prelucrare datorate uzurii tăișurilor active. După cum se vede soluția este fără acoperire științifică, se bazează pe cunoștințele și informațiile practice deținute despre un anumit mod de prelucrare cu scula dată pentru o MDFM.

Această metodă, nu este potrivită scopului propus în prezenta lucrare.

4.3. Construcția aparatului elaborat pentru studiul uzurii FMC

Cerințele specifice, activității de control a uzurii sculelor, impun construcții de aparate care prezintă unele particularități specifice acestora. În proiectarea și realizarea practică a aparatului de control a uzurii FMC, s-au avut în vedere elemente care constituie un mod aparte de rezolvare a cerințelor impuse de către o astfel de cercetare ca scop și mijloace.

În aceste condiții se pot preciza particularitățile de funcționare și precizie a aparatului elaborat, plecînd de la neajunsurile prezentate și argumentate în paragraful 4.2., pentru metodele și mijloacele cunoscute, adică:

- înlăturarea influenței bății radiale a dintelui FM, asupra uzurii măsurate;
- înlăturarea influenței erorilor de instalare a FM, în sistemul de control;
- aparatul elaborat să fie ușor de utilizat (având în vedere numărul mare de determinări), și să asigure precizia impusă pentru scopul urmărit, în condițiile repetabilității măsurătorilor, pentru diferitele condiții de cercetare;
- aparatul elaborat să fie caracterizat de flexibilitate, pentru adaptare imediată la dimensiunile diferite ale FM (ca diametru, lungime și modul al FM).

Pentru soluționarea, în condițiile expuse mai sus, a construcției unui astfel de aparat s-a plecat în primul rând de la alegerea corespunzătoare a bazelor de orientare-fixare a FMC în timpul controlului. Cea mai simplă și riguroasă soluție este folosirea gu-

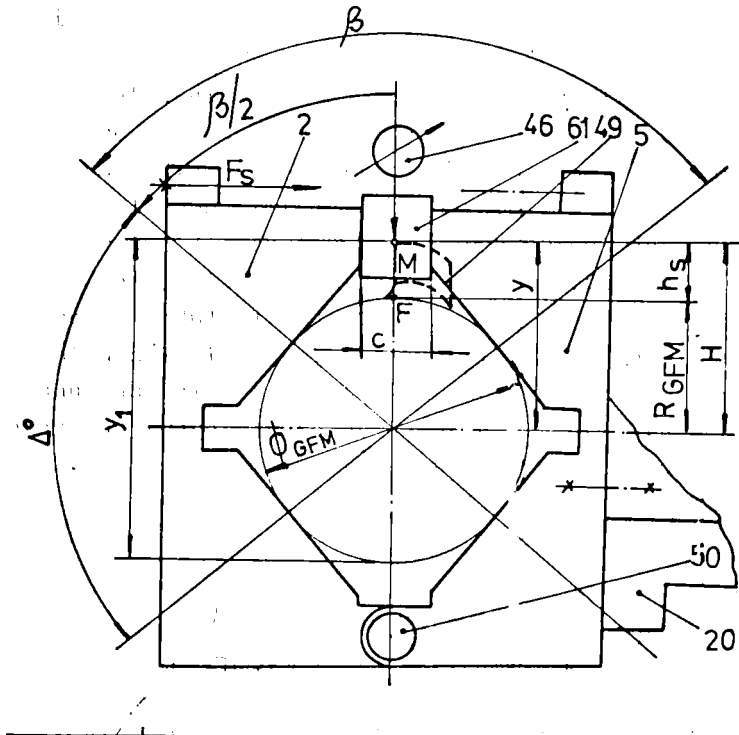


Fig.4.9. Sistem de instalare a FMC, cu prisme autocentrante

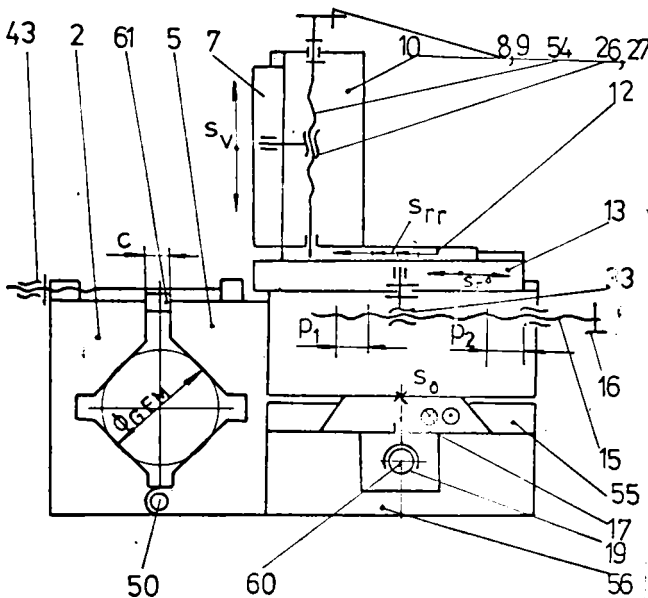
lerelor FMC, ca bază de instalare, figura 4.9., în care caz prismele autocentrante 2 și 5, asigură erorile de orientare zero, cotele raportate la centrul FMC, iar cele legate de cotele exterioare

(pe dintele 49, în punctul M) depinde de toleranța T_D la diametrul δ_{GFM} : $\epsilon_o(\beta) = \epsilon_o(\Delta) = \epsilon_o(\delta/2) = \epsilon_o(y) = 0$; $\epsilon_o(y_1) = T_D/2$ (4.3.1.)

Erorile de orientare datorită impreciziilor la execuția cotei δ_{GFM} sînt de asemenea anulate (fiind foarte mici, de ordinul micronilor), deoarece prin condițiile tehnice impuse de STAS execuției FMC și printr-o prelucrare prealabilă (de corecție) a gulerelor FMC, între vîrfuri se pot obține abateri minime pentru δ_{GFM} .

După cum se vede aceasta este principala revendicare tehnică, adoptată în construcția ACUFM, prin care se deosebește în mod esențial de oricare soluție cunoscută pînă în prezent, în domeniul controlului uzurii FMC, în afara procesului de așchiere, pentru un scop dat.

Soluția de principiu, prezentată în figura 4.10. rezolvă celelalte condiții legate de instalarea și funcționarea /51/, /53/, /54/, /56/, /59/, /60/, /61/, ACUFM, în sistemul de lucru. Așa cum se vede, și



din figura 4.10. ACUFM, este compus din patru subansamble: prismele autocentrante 2 și 5; sania verticală 10; sania radială 13; sania orizontală 17. Pentru fiecare subansamblu sînt prevăzute elemente de deplasare cu șurub piuliță în construcție specifică fiecărui caz de sanie. Elementele de deplasare pentru oricare dintre sîni au în compunerea sistemelor de acționare, arcuri, în vedere compensării jocurilor tehnologice din

fig.4.10. Schema de principiu a construcției ACUFM

tre piulițe și șuruburile de acționare.

Plecînd de la condițiile expuse anterior, în realizarea ACUFM și de la schema de principiu (figura 4.10.), s-a proiectat și realizat în fapt, acest dispozitiv, figura 4.11., care așa cum se vede are în compunere subansamblele prezentate principal în figura 4.10.

Prismele autocentrante (2,5), sînt prevăzute cu elemente de încl

dere 3, (șurub-piuliță), elemente (cale), de rezistență la uzură 4 limitator mecanic 1, de poziționare a dintelui FMC la măsurare. Prismele autocentrante, sînt reglabile la lungimea L_1 a FMC, prin plăcile schimbabile 21,22, figura 4.12. Din figura 4.12., se vede

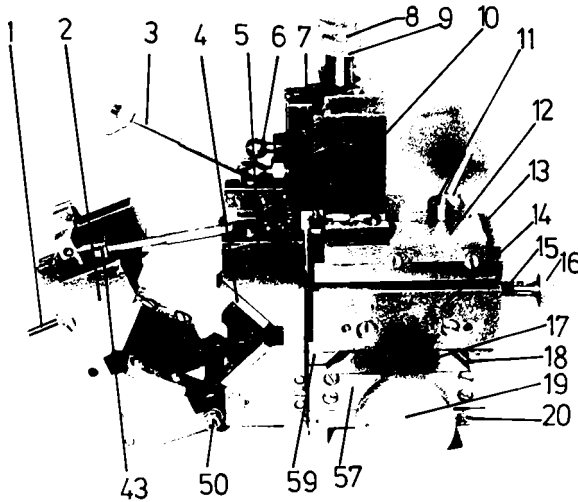


Fig.4.11. Vedere generală a construcției ACUFM.

de altfel că placa 21 are executate canale care permit instalarea liberă la cota dornului port-freză și apoi blocarea acesteia pe corpul ACUFM. Sania verticală 10, este prevăzută cu posibilitatea instalării și acționării plăcilor 7 (în ghidaje), care pot fi deplasate independent de la butoanele 8 și 9, în condițiile instalării a două

trunctoare distincte pe bolțurile (de asemenea reglabile grosier și blocabile) 6. Anularea erorilor de instalare a FMC, pe prismele autocentrante, precum și forță constantă de strîngere F_s , se asigură prin utilizarea calelor 61, realizate la cota "C" de strîngere (stabilită la punerea la zero a aparatului). În aceste condiții dacă se aplică forța de strîngere F_s cu ajutorul sistemului șurub-piuliță (43), determinată ca valoare limitativ de cale (61), prisma 2 se va roti în jurul propriu în jurul bolțului 50, ajungînd în poziția O_2 , figura 4.13., prisma 5 stă pe loc fiind ansamblată pe corpul ACUFM și va ocupa față de bolț poziția O_5 (bolțul este în poziția O_{50}).

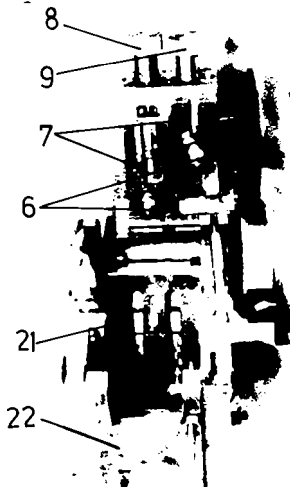
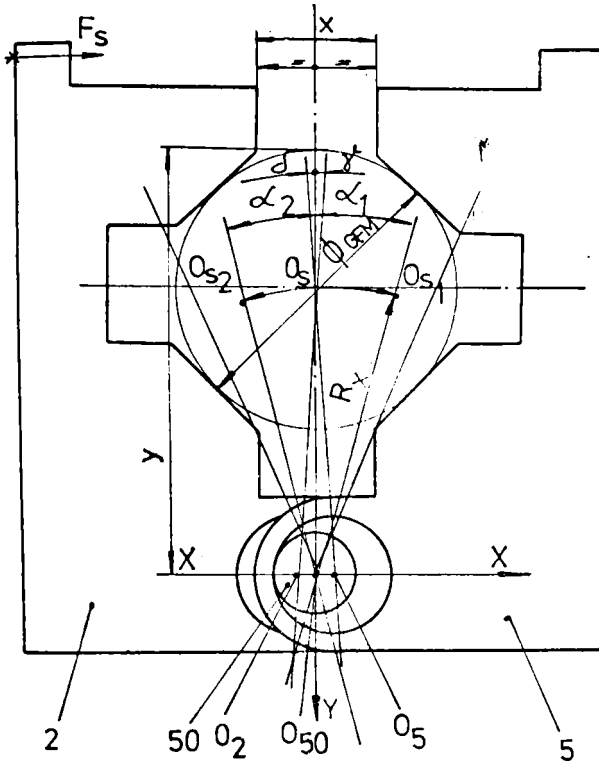


Fig.4.12.Vedere frontală a ACUFM

Prismele autocentrante prin rotația și orientarea pe suprafețele cilindrice proprii interioare față de suprafața cilindrică exterioară a bolțului 50, trebuie să asigure poziția O_s a FMC, în care caz eroarea de instalare este zero. În caz contrar, nerealizarea erorii de zero a cen-

trului, FMC poate ocupa în intervalul unghiular α_1 sau α_2 poziția corespunzătoare O_{s1} sau O_{s2} , care ar dezavantaja precizia măsurătorilor. Pentru determinarea erorilor la deplasarea centrului O_s al



FMC, az l el mai dezavantajos este atunci cînd centrul O_{50} se deplasează pe axa X, se poate arăta /60/, că:

$$\epsilon_{0s} \approx \delta + \gamma = \text{arctg}(2G \text{tg} \beta / \cos(\alpha/2) / R_x) \quad 4.3.2.$$

în care:

G - grosimea prismelor;
 β - abaterea axei găurii de la perpendicularitate față de suprafața frontală a prisme;

R_x - raza de instalare a FMC față de O_{50} .

Prelucrarea (la cota ajustajului), prismelor s-a făcut dintr-o prindere, pe mașina de rectificat în coordonate, prin care s-a asigurat β foarte mic, practic egal cu

Fig.4.13. Schema de calcul a erorilor lagărului prismelor autocentrante

zero, în care condiții $\epsilon_0(\alpha) = 0$. Dar poziționarea prismelor se face pe un bolt cilindric, cu joc funcțional (δh_6), în relațiile de calcul trebuie să se ia în considerare și valoarea jocului dintre bolt și suprafețele cilindrice interioare ale prismelor, în care caz distanța de deplasare a centrului găurii ar trebui să crească /60/, după relația: $\epsilon_0(\alpha) = \epsilon_0(R_{GFM}) = \epsilon_0(x) = \sqrt{A_s^2 + a_i^2 + (2G \text{tg} \beta)^2} \quad 4.3.3.$

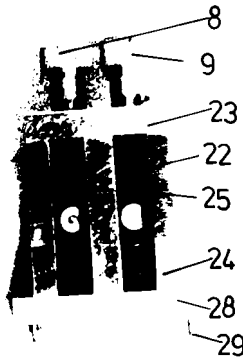
în care, A_s și a_i reprezintă abaterea superioară, respectiv inferioară a diametrului găurii și cum $\beta=0$, se obține: $\epsilon_0(x) = \sqrt{A_s^2 + a_i^2}$.

În aceleași condiții se poate determina abaterea pentru cota y, adică: $\epsilon_0(y) \approx \sqrt{A_s^2 + a_i^2 + (T_D/2)^2}$.

Din relațiile prezentate, pentru calcul erorilor de instalare, pentru soluția adoptată a lagărului comun celor două prisme, se observă

că acestea nu depind decât de condițiile tehnice (ajustaje), impuse la execuția subansamblelor componente. În acest sens, trebuie să se precizeze că toate componentele ACUEM au fost prevăzute prin tehnologia de fabricație cu operații de prelucrare (finale), de mare precizie, pe mașini-unelte cu performanțe proprii competitive pentru astfel de lucrări.

Elemente de detaliu privind construcția săniei verticale



(SV), se dau în figura 4.14. Butoanele 8 și 9, acționează independent șuruburile cu uncătoare 62, care sînt prevăzute cu arcurile 25, de compensare în ambele sensuri a deplasării plăcilor port-tractoare. Se remarcă utilizarea plăcilor asamblabile (23, 24, 28), prin știfturi tehnologice (29) pentru care s-a asigurat execuția de înaltă precizie pe mașina de rectificat în coordonate model 650 G, Mitsui Seiki.

Fig. 4.14. Detaliu de construcție a SV

Elemente specifice construcției, privind acționarea (șurub-piuliță), săniei verticale, comune cu cele pentru sania radială,

(SR), sînt prezentate în figura 4.15. Pentru sania radială, care trebuie să realizeze deplasări de precizie pe un domeniu mic (de exemplu pentru măsurarea uzurii Kf , în μm), s-a realizat în mod deosebit sistemul de acționare prevăzut cu șurubul diferențial 15, care antrenează în mișcare sania 13 (asemănător ca acționare și

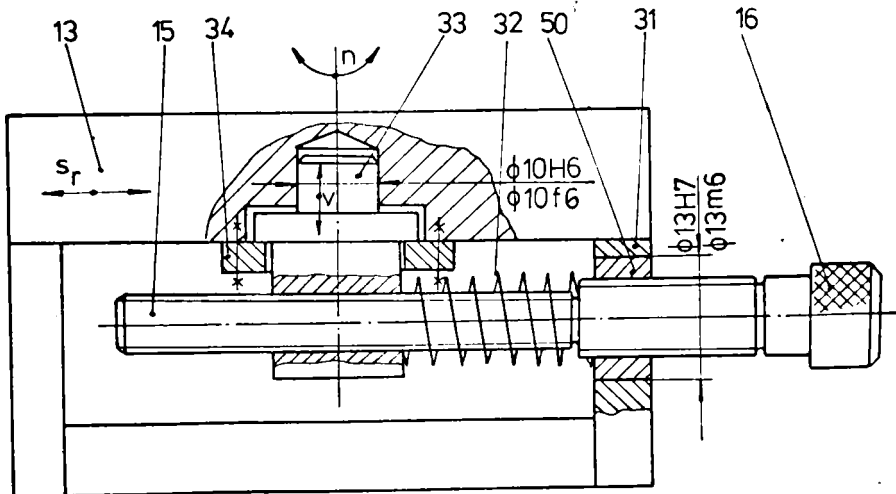


Fig. 4.15. Schema constructivă, a acționării SR

instalare și pentru SV), prin intermediul piuliței speciale 33. Piulița 33, este montată în placa 13 a SR, prin partea cilindrică ($\phi 10 f6$), cu ajustaj. Soluția constructivă și funcțională adoptată pentru piuliță permite anularea erorilor de execuție și instalarea acesteia față de șurubul și sistemul de ghidare al SR, după direcția v (fig.4.15) și n. Flanșa 34, asigură rozezmarea piuliței 33, în vederea montajului SR, iar arcul 32 compensează jocul tehnologic între piuliță și șurub.

Piulița 50, este montată în placa 31 de capăt și asigurată împotriva rotirii și deplasării axiale cu știft filetat.

În figura 4.16., sînt prezentate elemente constructive pentru

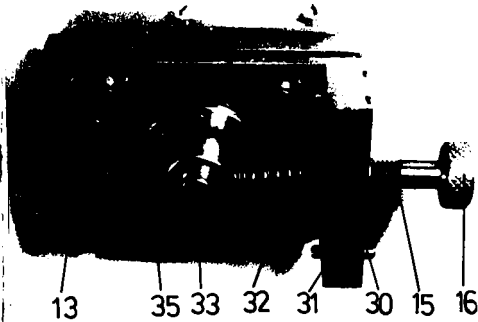


Fig.4.16. Detaliu de construcție a sistemului de acționare a SR

sistemul de deplasare șurub-piuliță (15,33). Acționarea șurubului 15 se realizează de la butonul 16, arcul 32 realizează compensarea jocului din sistemul de acționare. Și pentru aceste componente (31,35) se remarcă utilizarea construcției asamblabile, cu ajutorul știfturilor tehnologice 30.

În mod asemănător și pentru cazul săniei orizontale (S0), s-a adoptat pentru sistemul de acționare, sistemul șurub-piuliță, în aceleași condiții, ale piuliței 37 autoinstabile după direcția v și în jurul propriei axe (n), figura 4.17.

Sania 17 se va deplasa în planul orizontal, după direcția s_a , prin rotirea butonului 19, deplasînd în acest mod le fapt blocul solidar SV, SR, în vederea efectuării reglajelor sau determinărilor de uzură.

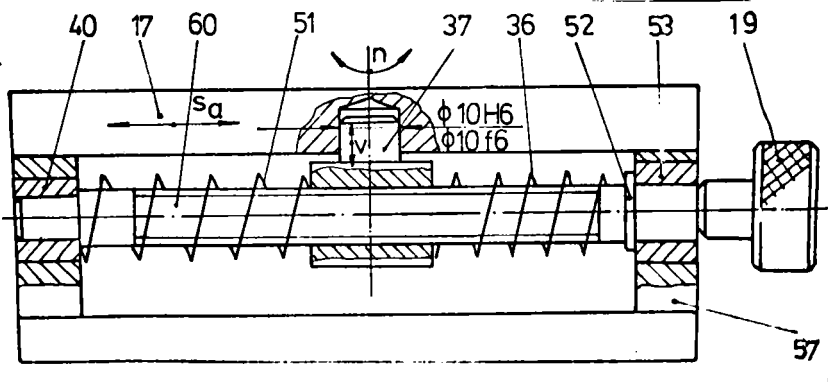
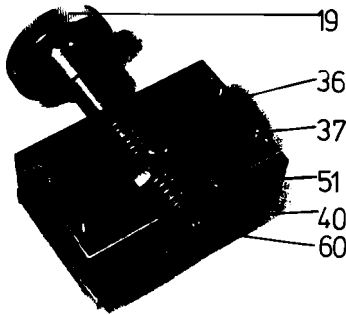


Fig.4.17. Schema constructivă, a acționării S0

Elementele de compensare 36,51, asigură preluarea jocului între piuliță și șurub la deplasarea în ambele sensuri, iar inelul 52 împiedică deplasarea axială a șurubului 60, de acționare.

În figura 4.18., sînt prezentate elementele constructive pentru modul de execuție și montaj al



sistemului de acționare al SO. Piulița 37, are posibilitatea rotirii în jurul axei proprii (n, fig. 4.17.), și deplasării verticale, după axa cepului de montaj în locul practicat în placa 17.

Fig. 4.18. Detaliu de construcție pentru SO

ACUFM, este echipat cu traductori de măsură specifici domeniului de lucru, pentru astfel de sisteme, ca în figura 4.19. Modul de instalare al traductorilor 44 și 46 pe SV, a fost prezentat în figura 4.12. Reglajul traductorilor în adîncime,

(spre dintele FMG), se obține inițial prin deplasarea grosieră a săniei 12, blocarea ei cu șurubul 11 și apoi prin acționarea butonului 16 se va obține o deplasare de precizie.

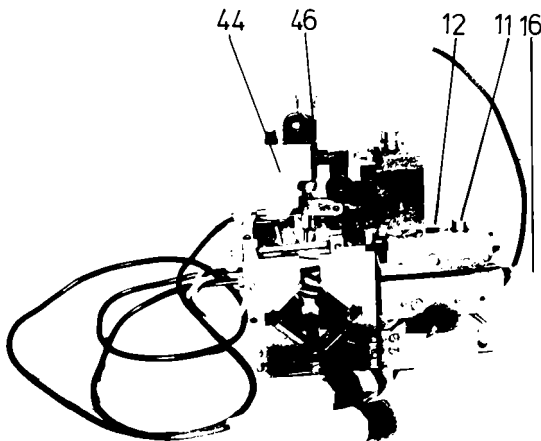


Fig. 4.19. ACUFM, echipat cu traductori

Traductoarele 44, 46, (figura 4.20.), sînt de tipul inductive, diferențiale, de deplasare, caracterizate de o sensibilitate ridicată în domeniul $75 \mu V$ și timp de stabilire a indicației de 1,5 s, performanțe care le recomandă pentru scopul urmărit.

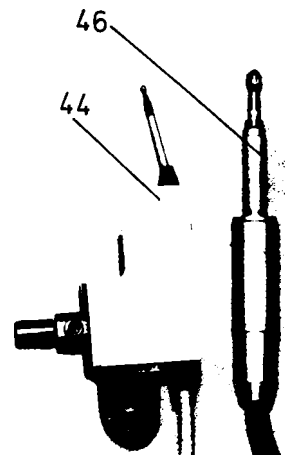


Fig. 4.20. Traductoare utilizate în compunerea ACUFM

Montajul complet al aparatului în vederea efectuării determinărilor de uzură, este cel prezentat în figura 4.21. Microcomparatorul electro-

torul electronic 18, este fabricat în RSR, (model M 2201), este prevăzut cu 4 scări distincte de măsură ($\pm 10 \mu\text{m}$, $\pm 20 \mu\text{m}$, $\pm 100 \mu\text{m}$, $\pm 200 \mu\text{m}$) care asigură un înalt grad al preciziei determinărilor.

Modul de instalare al traductoarelor, pe dintele

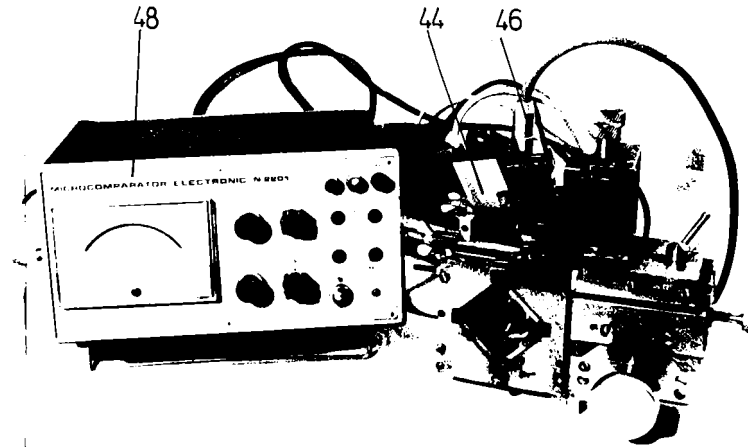


Fig.4.21. ACUFM, echipat cu sistem de măsură și afișare

FMC în vederea efectuării măsurătorilor de uzură este prezentat în figura 4.22. Măsurătorile se fac, de fapt succesiv, pentru același

dinte, însă în figură se prezintă instalarea acestora diferențiat în scopul înțelegerii modului de lucru.

Traductorul 46, se instalează pe fața de așezare a dintelui FMC în direcția radială, în care mod va pune în evidență uzura tocmai pe fața de așezare.

Traductorul 44, prin construcția sa specifică (figura 4.20.), permite instalarea palpatorului pe fața de degajare a dintelui FMC, cu reglajul corespunzător, putând pune în evidență uzura pe fața de degajare.

Fig.4.22. Mod de instalare al traductoarelor pe dinții FMC

Modul propriu-zis, și metoda de lucru cu ACUFM, se prezintă în detaliu în capitolul 5, în condițiile desfășurării cercetărilor din prezenta lucrare.

5. CERCETARI EXPERIMENTALE PENTRU STUDIUL DURABILITATII PREZELOR MELC CILINDRICE. PRECIZIA PIESELOR DANTURATE IN CONDITIILE CONDUCERII MASINII-UNELTE CU COMANDA ADAPTIVA A AVANSULUI

5.1. Condițiile generale ale cercetărilor

5.1.1. Prezentarea generală a mașinii-unelte de danturat roți dințate cilindrice, model FD 400-13CAL

Cercetările experimentale s-au desfășurat la I.M.Cugir și anume pe MDFMC cu CA a avansului utilizată în producția curentă a RDC, pentru care s-a stabilit continuarea cercetărilor în vederea echipării acesteia cu CA și a vitezei pe lângă CA a avansului (existentă), pe bază de contract de cercetare.

Sistemul de CA al avansului, existent pe FD 400-13CAL, realizează instalarea prin reglarea automată pe baza controlului procesului de așchiere, a avansului de lucru la toate ciclurile de danturare a RDC, cu excepția danturării roților melcate.

Mașina FD 400-13CAL menține în mare, caracterul constructiv al mașinii FD-400, standard, cu excepția subansamblelor modificate ca urmare a introducerii CA a avansului.

Reglarea automată a avansului /12/, pe baza controlului încărcării mașinii de către forțele de lucru, se face pentru un diametru și o turație a FMC stabilită.

Controlul se realizează prin măsurarea puterii de așchiere, mod în care pentru un caz concret tehnologic se menține o încărcare cât mai constantă în procesul de așchiere. Mărimea încărcării se stabilește automat de către sistem pe baza datelor tehnologice ale cazului concret, date care se introduc din afara mașinii-unelte, prin panoul de comandă, înainte de începerea unei danturări, pe baza desenului de execuție a piesei și care de regulă cuprind:

turația AP a FMC, modulul de danturat, caracteristica materialului piesei, numărul de începuturi a FMC și un avans de referință ca valoare maximă admisă de sistemul tehnologic elastic și care se alege după tabelul pentru avansuri din cartea MU sau se calculează /4/, /74/, /76/, /94/, de la caz la caz. Introducerea acestor date, durează maxim 30 sec., odată pentru un lot de piese.

Realizarea încărcării aproximativ constantă, se realizează prin reglarea avansului în mod continuu prin comanda variatorului mecanic de către o servoacționare electromecanică.

În vederea prelucrărilor cu avans constant la trecerea de finisare precum și în alte scopuri, sistemul permite instalarea avansului prin servocomandă, care menține constantă valoarea instalată (a avansului), în condițiile aplicării cazului tehnologic "Tip 2 și "Tip 1F".

Comanda adaptivă a avansului instalată pe MDFMC, model FD 400 13CA1, este caracterizată de următoarele funcțiuni specifice:

- efectuează comenzi numai în condițiile funcționării electromotorului principal, când este posibilă reglarea la variator a avansului;

- efectuează reglarea automată a avansului la orice ciclu de danturare a roților dințate cilindrice, exclusiv roți melcate;

- realizează un consum specific de energie aproximativ egal sau chiar mai mic decât cel al modelului FD 400 (fără CA), în condițiile creșterii capacității de producție cu pînă la circa 100% pentru o RD ;

- efectuează supravegherea și protecția MU la depășirea încercării nominale la AP precum și la depășirea cu un anumit raport a puterii de referință, care de obicei este mult mai mică decât cea nominală, în care caz SCA scoate MU din ciclu și semnalizează.

5.1.2. Parametri constanți și variabili, instalați pe mașina-unealtă pe parcursul desfășurării cercetărilor

Cercetările efectuate, sînt obiectiv legate de caracterul tranzitoriu al procesului de danturare cu FMC. Trebuie remarcat că în condițiile procesului de așchiere tranzitoriu se pot deosebi două situații legate evident de modul de lucru pe MDFMC cu CA sau cu SCO.

În cazul MDFMC cu SCO este vorba despre un "tranzitoriu convențional", corespunzător CT instalat și funcție de cazul danturării în SAV sau în CAV. În acest caz FMC începe danturarea cu lungimi mici (sau mari, funcție de CT instalat), după care la sarcina nominală să avem lungimi de așchii constante, ca apoi la ieșirea FMC din danturare, să avem iarăși așchii de la mare (mic) spre mic (mare), ca lungimi (cap.2., fig.2.3., 2.5., 2.8., 2.10.).

În cazul MDFMC cu CA a avansului situația este schimbată. Este vorba de fapt, despre un aspect al tranzitoriului chiar în condițiile când avansul de lucru este instalat și controlat de CA distinct și corelat cu variația lungimii așchii pentru cele trei faze ale danturării: intrarea în așchiere, sarcina nominală și ieșirea din așchiere (cap.2., fig.2.4., 2.6., 2.9., 2.11.).

Cu alte cuvinte, în cazul MDFMC cu CA al avansului acesta va fi reglat în mod continuu de sistem, indiferent în care fază a danturării ne aflăm, fapt care determină în permanență aşchiere cu lungimi de aşchii diferite. Acest aspect, al aşchierii, trebuie de fapt să conducă la micşorarea încercării pe dinte (apar deci faze de destindere a frecării pe tăişuri), care în mod firesc să conducă la micşorarea uzurii dintelui (pentru acelaşi număr de roţi danturate), deci la creşterea durabilităţii FMC.

În vederea rezolvării obiectivelor cercetării precizate în capitolul 1 s-a impus studiul durabilităţii FMC şi al preciziei la danturare prin analiza evoluţiei uzurii FMC pentru diferite cazuri tehnologice concrete instalate pe MDFMC cu SCD şi cu CA .

În aceste condiţii programul de cercetare s-a stabilit diferenţiat pentru cazul MDFMC cu SCD şi cu CA, pentru cicluri tehnologice fără avans tangenţial (CTF_{st}), considerate pe bună dreptate ca cele mai utilizate în fabricaţia RDC, după cum urmează:

A1a - ciclul tehnologic cu pătrundere axială în SAV şi în CAV;

A1b - ciclul tehnologic cu pătrundere radială, în SAV şi în CAV; Pentru aceste CT instalate pe MDFMC cu SCD şi CA s-a prevăzut cazul tehnologic "Tip 1" şi "Tip 2", deasemenea considerate ca cele mai răspândite în domeniul fabricării RDC, (fig.2.2., 2.3. ... 2.11.).

Parametri aşchierii utilizaţi în condiţiile generale ale determinărilor sînt: avansul axial (s_a) al FMC, în mm/rot; avansul radial al piesei (mesei, s_r), în mm/rot; turaţia (n), a FMC, în rot/min; viteza de aşchiere (v_{as}), în m/min şi modulul (m), al FMC, în mm.

În tabelul 5.1. sînt prezentate valorile parametrilor aşchierii, folosiţi /72/, /74/, /76/, în timpul încercărilor, cu precizarea CT instalat pe MDFMC.

Din analiza datelor prezentate în tabelul 5.1. se observă că pentru poziţia 1 a fost ales parametru variabil avansul de lucru s_a , v_{as} s-a menţinut constantă în condiţiile MDFMC cu SCD. Pentru poziţia 2, cazul MDFMC cu CA de asemenea s-a ales parametrul variabil s_a de referinţă şi v_{as} constantă.

În continuare s-au făcut determinări pentru diferite valori ale avansului fie de lucru (pentru cazul SCD), fie de refe-

Tabelul 5.1.

Nr. crt.	Ciclu tehn. (CT)	Caz tehn.	Mod de lucru MDFMC	Avans s _a ; s _r mm/rot.	Avans de re-ferin-ță s _{ref} mm/rot.	Tura-ția n rot/min	Viteza de aș. v _{aș} m/min	Obs. FMC uti-liza-tă
o.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
1.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	SCO	2,5 3,5 4 4,5	-	125	32 27 25 24	I II IV III
2.	CT în SAV cu Pax	Tip I	CA	-	2,5 3,5	125 125	32 27	I II
3.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	CA	-	2,5	125 175 200 250 275	32 35 40 50 54	III
4.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	SCO	2,5	-	63 100 160 225	12 20 30 43	IV
5.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	SCO	4	-	80 125 160	22 25 33	I
6.	CT în CAV cu Pax	Tip 1	SCO	4	-	80 125 160	22 25 33	II
7.	CT în SAV cu Pra	Tip 1	SCO	4	-	80 125 160 200	22 25 33 40	I
8.	CT în CAV cu Pra	Tip 1	SCO	4	-	80 125 160 200	22 25 33 40	II
9.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	SCO	2,5	-	63/100 100/160 160/250	12... 50	IV; cu v _{aș} va-riabil manual
10.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	SCO	4	-	63/100 100/160 160/250	22... 50	III; cu v _{aș} va-riabil manual
11.	CT în CAV cu Pax	Tip 1	SCO	4	-	63/100 100/160 160/250	22... 50	III; cu v _{aș} va-riabil manual

0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
12.	CT în SAV cu Pra	Tip 1	SCO	4	-	63/100 100/160 160/250	22... 50	IV;cu vaş va riabil manual
13.	CT în CAV cu Pra	Tip 1	SCO	4	-	63/100 100/160 160/250	22... 50	I; cu vaş va riabil manual
14.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	CA	2,5	2,5	80 125 160 200	12 20 30 43	III
15.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	CA	-	4	80 125 160 200	22 25 33 40	IV
16.	CT în CAV cu Pax	Tip 1	CA	-	2,5	80 125 160 200	12 20 30 43	II
17.	CT în CAV cu Pax	Tip 1	CA	-	4	80 125 160 200	22 25 33 40	III
18.	CT în SAV cu Pra	Tip 1	CA	-	4	80 125 160 200	22 25 33 40	IV
19.	CT în CAV cu Pra	Tip 1	CA	-	4	80 125 160 200	22 25 33 40	II
20.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	SCO	4	-	80 125 160 200	22 25 33 40	III;RD cu din- ţi în- clinaţi
21.	CT în SAV cu Pax	Tip 1	CA	-	4	80 125 160 200	22 25 33 40	IV;RD cu din- ţi în- clinaţi
22.	CT în SAV cu Pax	Tip 2	SCO	2,5 (0,8 ptr. finisare)	-	80 125 160 200	22 25 33 40	II;RD fini- sate
23.	CT în SAV cu Pax	Tip 2	CA	-	2,5 (0,8 ptr. finisare)	80 125 160 200	22 25 33 40	I;RD fini- sate

rință (după cum MDFMC a fost în regim de SCD sau SCA), corespunzător fiecărui CT s-au ales diferite v_{as} urmărindu-se în acest mod influența variației acestora asupra durabilității FMC și a preciziei de prelucrare a RD.

Pentru fiecare caz în parte s-au asigurat condiții inițiale de lucru identice pentru FMC (marcate distinct: I, II, III, IV), atât în ceea ce privește menținerea geometriei dintelui cît și același dorn portaculă, pentru a elimina surse de erori la măsurarea uzurii.

Pentru prelucrare s-au folosit semifabricate pentru RD din programul de fabricație al I.M.Cugir, (unde de fapt s-au desfășurat integral experiențele), pentru exemplificare se prezintă în

Tabelul 5.2.

Nr. crt. la care aparține RD	Produsul	Nr. de dinți z ai RD	Clasa de precizie și jocul re	Diametrul de divizare /mm/	Înălțimea dințelului /mm/	Modulul m /mm/	Material RD
1.	FC 25	41	7-JC	82	4	2	18MnCr10
2.	FC 36	50	7-JC	100	6	2,5	18MnCr10
3.	FC 25	62	5-JD	124	8	2	18MnCr10
4.	FC 25	54	6-JD	108	4	2	18MnCr10
5.	FC 35	62	6-JD	136	4,5	2,5	18MnCr10
6.	PD 250	21	6-7-JD	42	4,5	2	OLC 60
7.	FC 35	48	5-JC	120	5,62	2,5	OLC 45

Tabelul 5.2., caracteristicile impuse la prelucrarea citorva dintre acestea.

În vederea stabilirii datelor pentru interpretarea influenței materialului de prelucrat asupra uzurii sculei se consideră necesară prezentarea constituenților și caracteristicilor mecanice (conform STAS), pentru materialele /69/, /80/, utilizate la prelucrarea RDC, în tabelul 5.3.

Pentru RDC prelucrate s-a atestat prin certificat de calitate conținutul în elementele de aliere constituente și caracteristicile mecanice impuse la prelucrarea acestora. Așa cum s-a mai precizat RDC prelucrate au fost (pe MDFMC cu SOG sau SA) introduse în fluxul de fabricație curent, (ajustare, tratament termic, rectificarea de profil, montaj), fiind constituite și urmărite ca lot de cercetare pentru toate punctele de control, conform tehnologiei de prelucrare.

Tabelul 5.3.

Nr. crt.	Marca oțel	Starea inițială a materialului	Duritate HB	STAS	C %	Si %	Mn%	Cr %	R_m N/mm ²
1.	18MnCr10	laminat la cald	165-205	791/80	0,15 0,22	0,17 0,37	0,9 1,2	0,9 1,2	880- 1180
2.	OLC 60	îmbunătățit	185	880/60	0,57 0,65	0,17 0,37	0,5 0,8	max 0,3	850- 950
3.	OLC 45	îmbunătățit	170	880/60	0,42 0,5	0,17 0,37	0,5 0,8	max 0,3	950- 1050

5.1.3. Standul, pentru determinarea uzurii FMC. Mod de lucru

Luând în considerare cerințele specifice (formulate în capitolul 4.3.), pentru stabilirea dependențelor uzurii și preciziei prelucrărilor cu FMC pe MDFMC, precum și construcția ACUFM, măsurările reclamate de tema de cercetare (pentru uzură), s-au desfășurat după două direcții:

1. măsurări mecanice a uzurii FMC;
2. măsurări optice a uzurii FMC.

1. Măsurări mecanice a uzurii FMC

În vederea utilizării ACUFM, conceput și construit pentru determinarea uzurii FMC, s-a ales drept sistem de instalare, un modul, din compunerea unui aparat utilizat în laboratorul de control pentru RD al I.M.Cugir, Așa cum se vede din figura 5.1., construc-



Fig.5.1.Construcția generală a standului pentru controlul uzurii FMC

INSTITUTUL DE RESEARCHI ENERGETICE

ția utilizată, oferă stabilitate în timpul efectuării activităților specifice măsurărilor de precizie. ACUFM, 1, se va instala în sistemul autocentrant 2; întrevîrfurile 3 și 4, oferă posibilitatea instalării dornului portfreză, iar microcomparatorul electronic 5, se va conecta la traductoarele 6 și 7 din compunerea ACUFM.

În figura 5.2. se observă în detaliu (vedere de sus), modul de instalare al ACUFM, în sistemul autocentrant 2 al modulului de

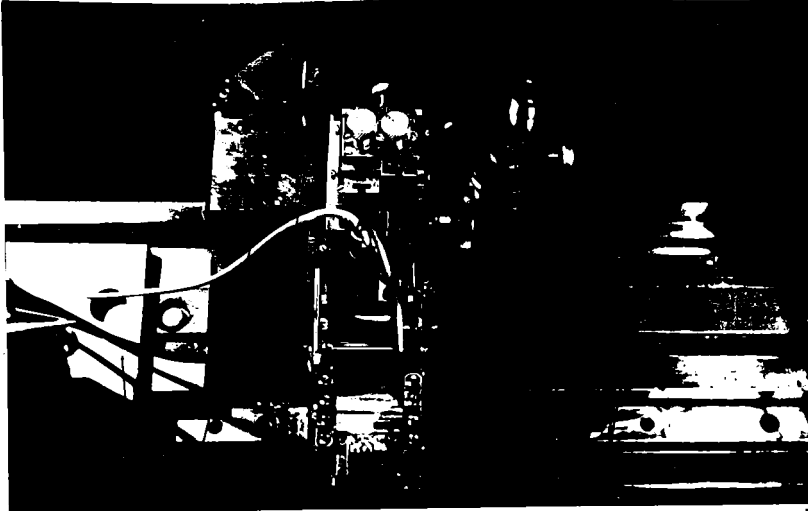


Fig. 5.2. Mod de instalare a ACUFM, vedere de sus control. Placa de bază 8 este instalată și condusă pe ghidajul fix comun și pentru întrevîrfurile 3 și 4, care pot fi reglate grosier ca distanță cu ajutorul plăcilor 9 și 10. În figura 5.3., după cum

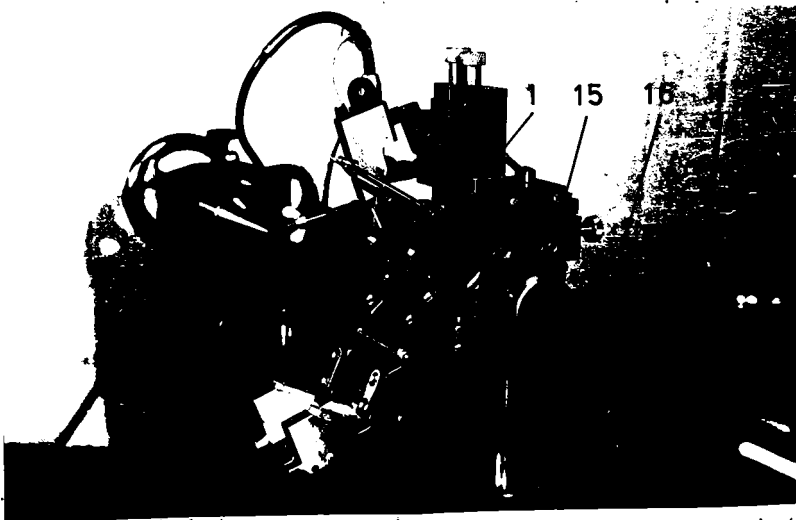


Fig. 5.3. Mod de instalare în vederea reglării ACUFM

se vede, sistemul de ghidare 11 (propriu modulului de lucru), permite instalarea și reglarea în direcție normală pe linia vîrfurilor 3 și 4, grosier și fin de la butonul 12 (figura 5.2.). De la butonul 13 (fig.5.2.), placa de bază 8, poate fi deplasată fin în ambele sensuri după care se poate bloca de la butonul 14. Intregul sistem ACUFM, montat pe placa 8 se poate roti liber, după care bloca (șurubul de blocare nu se vede în figură), în vederea desfășurării măsurărilor.

În condițiile instalării între vîrfuri a FMC, montată pe dorn este necesar ca sistemul propriu-zis de măsurare (ACUFM-FMC), să fie descărcat de eventualele tensiuni așa cum se vede în figura 5.3., cu ajutorul șurubului reglabil fin 15. În figura 5.3., se observă mai bine faptul că ACUFM este instalat pe placa reglabilă 16, deplasabilă în ghidajul de precizie 11 al plăcii 8.

Mod de lucru

În vederea stabilirii evoluției uzurii FMC, indiferent de cazul MDFMC cu SCO sau CA, în condițiile stabilirii regimurilor de lucru, deci a parametrilor încercărilor, FMC aleasă, se va instala pe dornul portfreză și se va menține în această stare pînă la terminarea încercărilor pentru un program de cercetare stabilit.

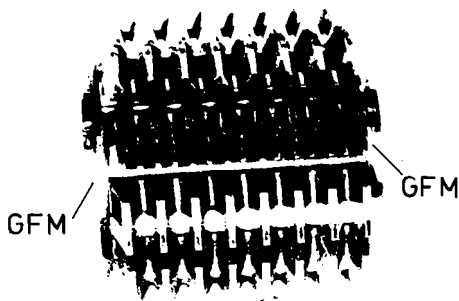


Fig.5.4. FMC utilizată la încercări

Așa cum s-a precizat în capitolul 4.3., ACUFM, realizează instalarea pe gulerele GFM a FMC, motiv pentru care la toate FMC (utilizate), s-a executat (între vîrfuri pe dorn) o colecție a gulereilor GFM. În această colecție, figura 5.4., asigurîndu-se bazele de instalare a acestora în condițiile de precizie cerute de obiectivele cercetării.

Dornul portfreză 17, montat împreună cu FMC, se va instala inițial în standul de control, în vederea punerii la zero a ACUFM, ca în figura 5.5. Dornul 17, se instalează în vîrfurile 3 și 4 (fără blocare), după care se va proceda la reglajul ACUFM (numai la punerea la zero). ACUFM, se va deplasa grosier în ghidajul 11 (figura 5.2.), apoi fin cu ajutorul butonului 12 (figura 5.2.), pînă cînd gulerele FMC vin în contact cu prismele 16, (figura 5.6.), ale ACUFM. În vederea stabilirii poziției corect a

prismelor 18 și 19 față de gulerele FMC, ACUFM, montat pe placa 8 (figura 5.2.), are grade de libertate după cele trei axe (liniare)

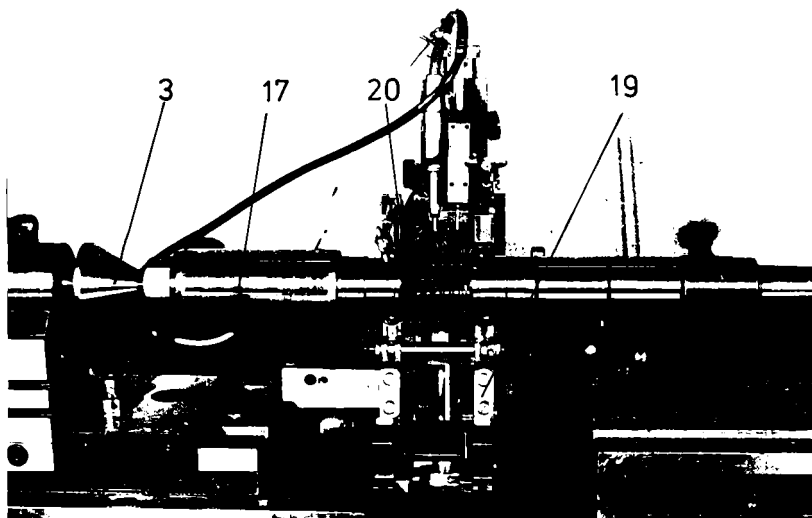


Fig.5.5. Mod de instalare a dornului cu FMC, pe stand

și rotație în jurul axei verticale. Prismele autocentrante 19 se vor roti în jurul lagărului și bloca cu sistemul prezentat în capitolul 4.3., asigurându-se așezarea sistemului dorn-FMC, cu gulerele FMC pe cele patru prisme, figura 5.6. În vederea menținerii forței

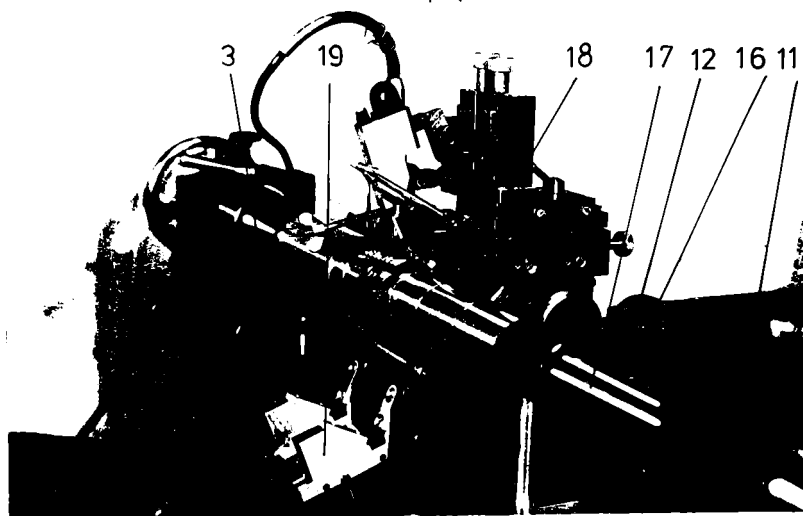


Fig.5.6. Mod de instalare-reglare a ACUFM, față de FMC

de strângere constante în timpul reinstalărilor, se vor utiliza caiele de reglaj 61 prezentate în figura 4.9. și 4.21. După ce au fost

instalate corect prismele 18 și 19, se va bloca placa 20 (fig.5.5) cu ajutorul șuruburilor de montaj, apoi se va bloca mișcarea de pivotare a plăcii 8 și deplasarea liniară a acesteia prin butonul 14 (figura 5.2.), de asemenea placa 16 din sania 11 (figura 5.6.), cu ajutorul unei pene cu șurub. Procedînd în acest mod numai pentru reglajul inițial (la zero), al ACUFM se poate trece la reglajul traductorilor 6 și 7, (figura 5.1.), succesiv afișînd valoarea de zero la microcomparatorul electronic 5 (figura 5.1.), pentru fiecare direcție de măsurare a uzurii dintelui marcat distinct.

Modul de instalare al traductorilor în vederea efectuării măsurărilor a fost expus pe larg în capitolul 4.3. și prezentat în detaliu în figura 4.22.

În vederea măsurărilor de uzură, standul arată ca în figura 5.7., în poziție închisă cu traductorii instalați ca în figura 4.22., și conectați la microcomparatorul electronic 5.

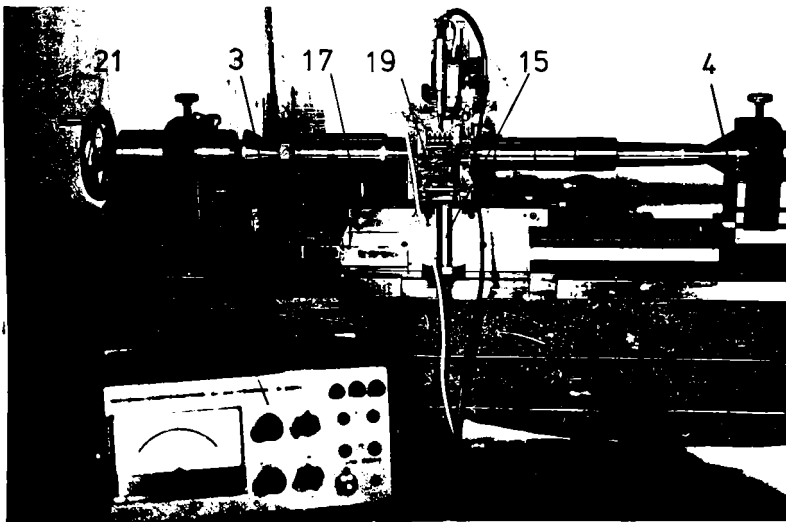


Fig.5.7. Vedere generală a standului, în poziție de lucru

După punerea la zero (a sistemului de măsură), se va acorda dornul portfreză cu FMC din stand, în următoarea succesiune: se deschide sistemul de fixare a prismelor 19 pe gulerele FMC, se lasă în jos ca în figura 5.5. (sau figura 5.6.), se rotește manivela 21 în vederea eliberării dornului 17 dintre vîrfuri, după care acesta se va instala în sistemul MDFMC, urmînd a se efectua danturarea pentru un lot de piese determinate. După danturarea lotului de piese (pentru parametri stabiliți), dornul 17 se va demonta din MDFMC, se va degresa prin spălare în petrol (adică FMC), și

instala în vederea determinării uzurii pe dinte. După efectuarea măsurărilor și a citirilor (succesiv), la microcomparatorul electronic 5 (figura 5.7.), fără a se demonta sistemul de lucru se pune microcomparatorul electronic 5 (succesiv pentru fiecare traductor, în primul rând traductorul 6, apoi 7), la zero pentru cele două traductoare, după care se demontează dornul 17 și se va instala în sistemul de lucru al MDFMC. Operațiile prezentate se repetă pentru fiecare program de măsurări în aceeași ordine de câte ori este nevoie, urmînd drumul expus mai înainte.

2. Măsurările optice a uzurii FMC

Măsurările uzurii de suprafață a FMC (pe dinte), pentru suprafețele A_{ϕ} și A_{cc} s-au efectuat pe microscopul de atelier model BK70x50 al firmei CARL ZEISS JENA, RDG. În acest sens FMC a fost instalată pe dornul de control (unic pentru toate FMC), și acesta la rîndul lui în sistemul întrevîrfuri din dotarea microscopului de atelier. Măsurările optice ca și cele mecanice s-au referit la dintele care danturează golul central al RD, pentru care s-a urmări-

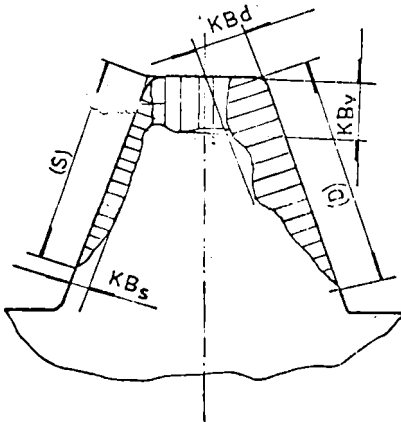


Fig. 5.8. Uzura pe suprafața A_{ϕ}

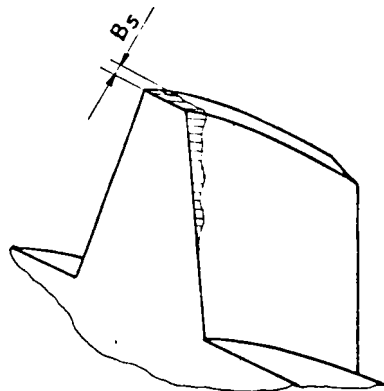


Fig. 5.9. Uzura pe suprafața A

rit evoluția uzurii după modelul prezentat în figurile 5.8. și 5.9.

Valorile rezultate în urma măsurărilor optice au fost valorificate în direcția interpretării și reprezentării dependențelor parametrilor așchierii funcție de uzura FMC.

Aceste determinări sînt considerate ca fiind obiective în ceea ce privește stabilirea influențelor regimului tranzitoriu la danturare, adică a influențelor variației lungimii așchiilor față de evoluția uzurii FMC, indiferent de modul de lucru al MDFMC, cu

5.1.4. Controlul preciziei roților dințate

În general, dinții roților dințate /4/, /8/, /79/, folosite în industria constructoare de mașini, au profilul funcțional format dintr-un arc de evolventă, curbă care prezintă avantaje funcționale și tehnologice. Abaterile flancului dintelui de la curba teoretică conduc la defecțiuni în funcționarea viitorului angrenaj.

a. Prin definiție "eroarea de profil" f_{fr} , reprezintă distanța dintre două profile teoretice în evolventă a dintelui, care conturează (în limitele înălțimii utilizabile a dintelui), profilul efectiv al acestuia. Această abatere a profilului (h_i) se mai numește și eroarea de formă figura 5.10. și este măsurată pe normala la cele două evolvente extreme. Eroarea de profil este efectul următoarelor cauze: erorile proprii sculelor așchietoare, legate de execuția, ascuțirea și montajul acestora; erorile cinematice sau dinamice ale lanțului cinematic de rulare; regimul de așchiere (avans, viteză de așchiere, sens al așchierii, etc.) și modul de lucru a mașinii - t, f g SCD sau CA a avansului.

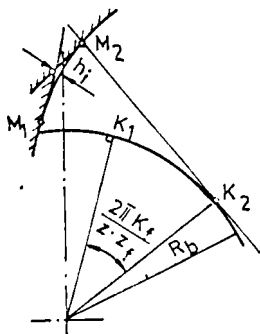


Fig. 5.10. Eroarea h_i a dintelui RDC

b. Eroarea (sau abaterea), direcției dintelui $F_{\beta r}$, figura 5.11.a,b, reprezintă de fapt abaterea $\Delta\beta_0$, a unghiului de înclinare a elicei dintelui pe cilindru de rază R_d , ea se stabilește funcție de lungimea arcului $F_{\beta r}$ și lățimea roții.

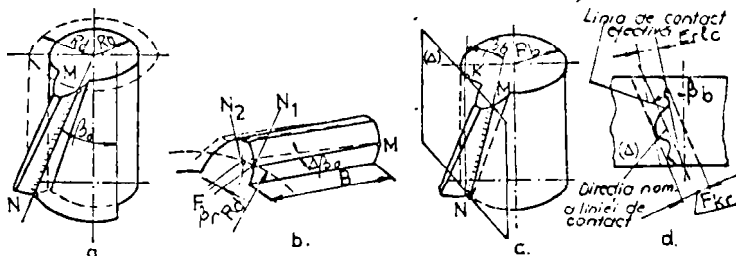


Fig. 5.11. Mod de reprezentare a erorii direcției dintelui RDC

Eroarea direcției liniei de contact, F_{kr} , figura 5.11. d, se referă de regulă la RD late cu dinți înclinați.

În general sînt două măsuri distincte, una pentru determinarea unghiului de înclinare β_0 și una pentru linia de contact.

c. Principial metoda de măsurare prin controlul complex pe ambele flancuri, este cunoscută din literatura de specialitate și este diferită de la întreprindere la întreprindere, evident funcție de gradul de dotare al acesteia.

La I.M.Cugir, controlul profilului dintelui și a direcției dintelui s-a efectuat cu ajutorul evolventmetrului cu disc, al firmei MAAG ZURICH. Aparatul, figura 5.12., are în componerea sa gene-

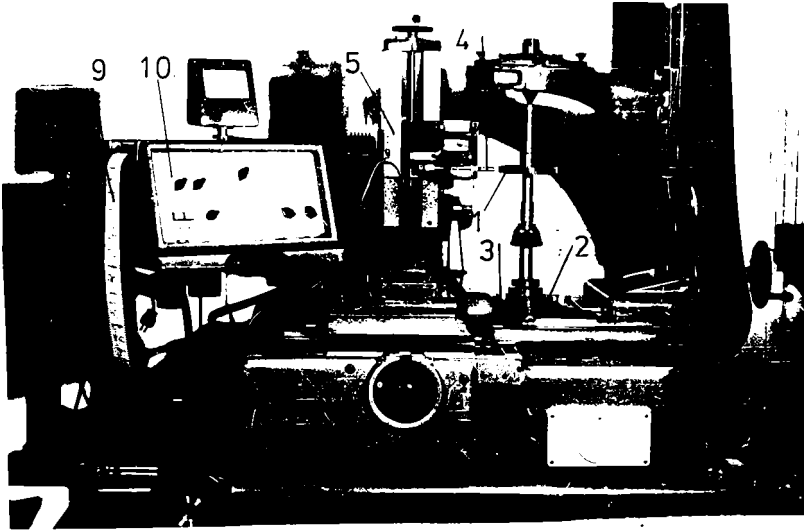


Fig.5.12.Vedere generală a standului de control a preciziei, pe lângă echipamentul de control complex al dintelui RD și modulul de înregistrare 10, a erorilor profilului și direcției dintelui.

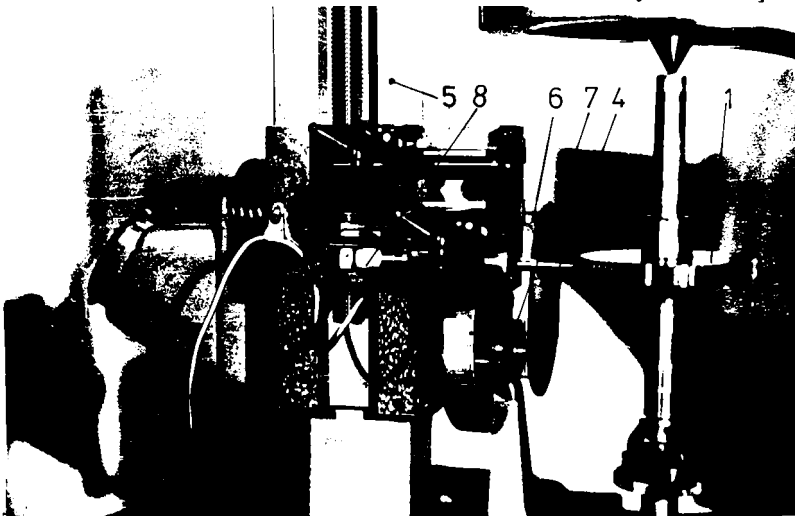


Fig.5.13.Detaliu de instalare a evolventmetrului pentru o RD

lui RD, în vederea interpretării reglajului MDFMC și a modului de lucru stabilit (cu SCD sau CA). Aparatul folosește un singur disc de rulare 2, cu raza R_R , peste care rulează fără alunecare rigla mobilă 3. Concomitent cu rigla mobilă, palpatorul 4 al aparatului printr-o legătură realizată cu un sistem de pîrghii, descrie o dreaptă imaginară tangentă la cercul de bază R_b al roții de controlat 1. Din compunerea mișcării de rotație a discului 2 și de translație a vârfului palpatorului 4, figura 5.13., ea naștere evolventa teoretică care reprezintă etalonul față de care se compară (și înregistrează), evolventa flancului și direcția dintelui și față de care se face efectiv controlul RD.

Sania verticală 5, permite reglajul inițial al palpatorului 4 (în domeniul cotei B a dintelui RD), de asemenea pe ea se mai găsește platoul înclinabil 6, în care se poate orienta unghiular și deplasa culisorul 7 (figura 5.13.). Platoul 6 și culisorul 7, fac legătura cinematică între rostogolirea fără alunecare a discului 2 pe rigla 3 și mișcarea palpatorului 4 pe flancul dintelui. Palpatorul 4 este conectat la un traductor 8 care de asemenea transmite semnalul corespunzător poziției acestuia (a palpatorului pe flancul dintelui), la modulul 10 de înregistrare și afișare pe banda 9, a erorilor de profil și direcție a dintelui RD.

d. Interpretarea rezultatelor obținute în urma controlului și a înregistrărilor pe bandă de hîrtie specială, în condițiile cercetării efectuate pentru cele două cazuri ale danturării RD pe MDFMC (cu SCD și cu CA), este diferită de cea a controlului de fabricație curentă.

În aceste condiții se consideră (de fapt așa s-a și procedat), că problemele legate de reglajul mașinii și construcția FMC pentru ambele moduri de lucru sînt integral și foarte bine rezolvate, urmare a cărui fapt interpretarea rezultatelor se face numai din punctul de vedere al stabilirii influenței CA și a SCO asupra preciziei RD danturate în aceste moduri.

În scopul urmăririi și valorificării mai bine a rezultatelor pentru fiecare CT și caz al parametrilor încercărilor ($s_a, v_{a\dot{a}}$) RDC danturate au fost marcate distinct, mod care a permis stabilirea rezultatelor cercetării chiar în condiții funcționării acestora pe subansamblele produselor aparținătoare.

Înregistrările efectuate la I.M.Cugir, pe evolventmetrul cu disc, sînt analizate și prezentate în cuprinsul tezei, în cele ce urmează, în vederea stabilirii bazelor științifice a relațiilor de calcul a $v_{a\dot{a}}$ în condițiile CA și pentru $v_{a\dot{a}}$.

5.2. Determinări experimentale a influenței parametrilor aşchierii (s , v_{ag}) asupra evoluției uzurii la danturarea cu freză melc cilindrică

5.2.1. Considerații prealabile

În vederea stabilirii influenței variației parametrilor aşchierii (s , v_{ag}), asupra evoluției uzurii (duraibilității) FMC la danturare, deci a bazelor de calcul pentru v_{ag} , s-au prelucrat RD din programul de fabricație al I.M.Cugir după datele prezentate în tabelul 5.1., pentru produsele de asemenea prezentate în tabelul 5.2.

S-a considerat necesar efectuarea determinărilor pentru ambele cazuri ale utilizării MDFMC cu SCO și cu CA a avansului, pornind și de la considerentul că pînă acum nu sînt cunoscute date despre evoluția uzurii FMC, în literatura de specialitate, în mod deosebit pentru MDFMC cu CA. În această problemă se poate preciza că de fapt desfășurarea procesului de aşchiere este specifică modului de lucru în detaliu a sistemului de CA. Chiar dacă ar exista astfel de date pe plan mondial pentru MDFMC cu CA, ele nu ar fi totuși valabile pentru sistemul MDFMC 400-CA-1, care are o serie de particularități și de avantaje față de cele cîteva astfel de sisteme cunoscute pe plan mondial.

În consecință studiul se impune atît datorită structurii și modului de lucru deosebit al sistemului CA din RSR, cît și datorită faptului că în general astfel de cercetări nu sînt efectuate pe plan mondial nici pentru alte sisteme.

De asemenea, pornind de la obiectivele cercetării stabilite în capitolul 1.3. în cele ce urmează se vor prezenta rezultatele cercetărilor în acest context.

În figura 5.14. , se prezintă direcțiile de măsurare a uzurii dintelui FMC (pentru dintele central), în care mod se precizează și care sînt valorile uzurii măsurate, adică K_B , K_T , B_g , B_f și h_r , pentru care se vor face și reprezentările respective.

Pentru cazul MDFMC cu SCO și CA, s-a urmărit în primul rînd o verificare a corespondenței dintre datele din literatura de specialitate /19/, /24/, /30/, /31/, /32/, /34/, /35/, /38/, /39/, /43/, /45/, referitoare la influența avansului s_a , asupra evoluției uzurii. Pentru cazul MDFMC cu SCO s-au făcut determinări pentru

valori diferite ale avansului (tabelul 5.1., poziția 1), iar pentru cazul MDFMC cu CA s-au considerat necesare două situații pentru de-

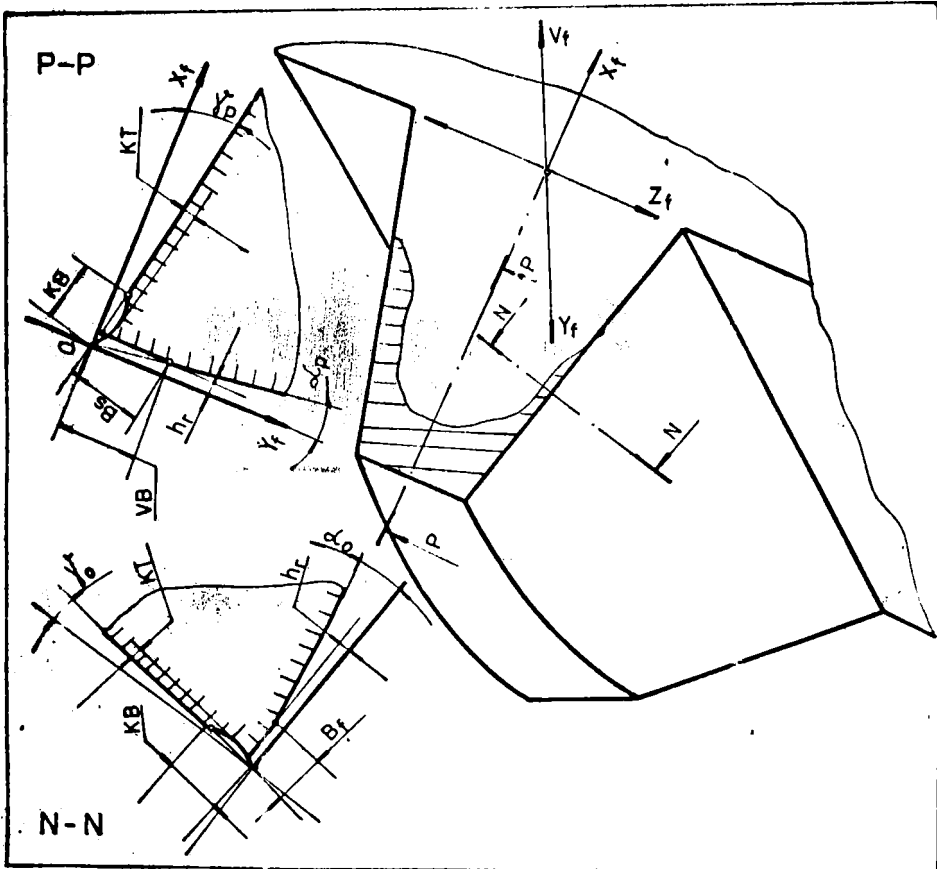


Fig.5.14.Principalele forme ale uzurii dintelui FMC

terminări și anume: un caz al conducerii MDFMC cu CA pentru două avansuri de referință și viteze de așchiere corepunzătoare ($n = cts$) și alt caz pentru $s_{ref} = cts$ și viteze de așchiere diferite ($n = variabil$). În vederea stabilirii condițiilor de calcul pentru v_{ag} este oportun să se analizeze rezultatele încercărilor pentru fiecare mod de lucru stabilit în tabelul 5.1., evident comparativ pentru cele două moduri de lucru ale MDFMC cu SCO și CA.

În cele ce urmează ne vom analiza fiecare caz precizat, urmând ca pentru definitivarea bazelor de calcul a v_{ag} să fie ur-

nalizate aceste rezultate în condițiile stabilirii și a rezultate-
lor referitoare și la precizia danturării.

5.2.2. Influența variației avansului asupra evoluției uzurii

a. Pentru acest caz al determinărilor s-au stabilit valori
ale avansului la danturare (s_a), care să se afle în plaja de lucru
în regim tranzitoriu la danturare după pătrundere, înainte și la
ieșirea din așchiere a FMC (între 2,5 - 4,5 mm /rot), deci cu SCO.

Se consideră ca justificat oîmpul de lucru pentru avans ea
fiind cel mai adesea întîlnit la MDFMC cu CA, pentru a putea stabili
baze de referință și analiză realiste.

În cele ce urmează pentru simplificarea redării condițiilor
încercărilor, acestea (s_a , $v_{aș}$, n , z , m , HB, B, etc.), vor fi prezen-
tate în medalion pe fiecare grafic în parte.

În figura 5.15., se prezintă variația adîncimii craterului u-
zării KT și a uzurii radiale h_r , funcție de numărul de piese prelu-

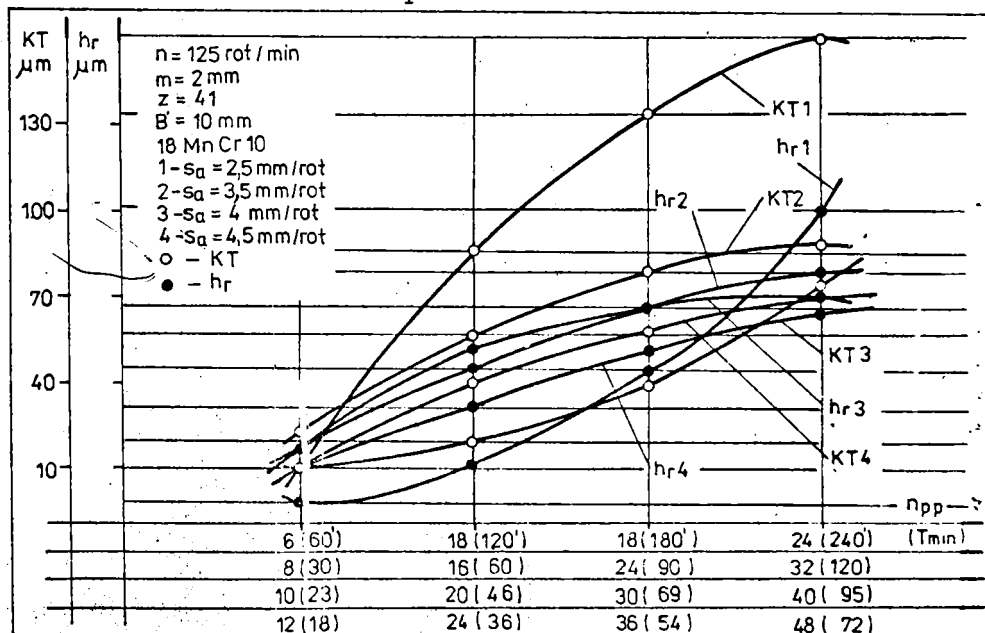


Fig. 5.15. Variația uzurii KT, h_r funcție de n_{pp} și T

orate (n_{pp}), sau pentru același timp T al prelucrării. Așa cum se
vede din grafice pentru aceleași valori ale avansului s_a (2,5-3,5 mm/
rot), considerate aici ca mici, uzura este mare pentru ambele moduri
de exprimare (KT sau h_r), dar mai mică pentru cazul uzurii h_r pentru

oricare valoare a avansului s_a . Ciclul tehnologic aplicat a fost de tipul 1, cazul A.I a'.

Pentru valori mici ale avansului curbele de variație (1,2) prezintă puncte de maxim, care sînt superioare ca valori absolute față de punctele de maxim pentru cazul avansului $s_a = 4,5 \text{ mm/rot}$.

Din analiza acestor grafice se desprinde ideea că în condițiile danturării cu FMC (evident în regim tranzitoriu, cu variații ale lungimii așchiilor), prelucrarea cu s_a mare din punctul de vedere al uzurii (adică n_{pp} sau T), este economică și chiar avantajoasă, cu atît mai mult în condițiile CA unde s_a ia valori funcție de datele reale din proces.

În figura 5.16., se prezintă variația lățimii craterului uzurii la vârful dintelui (KB_v) și a lățimii fatetei uzurii pe

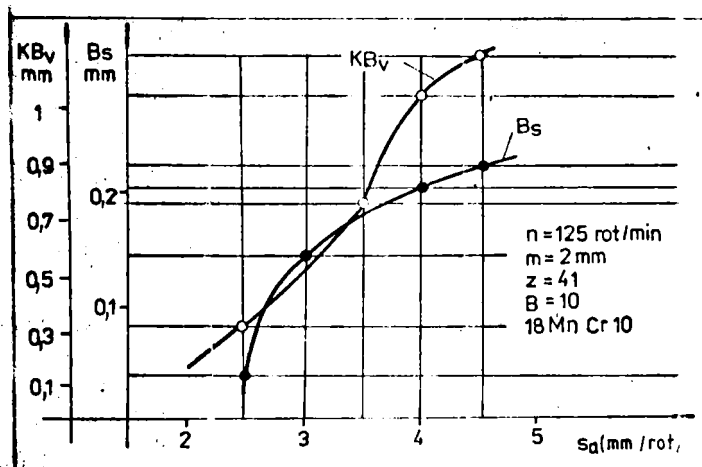
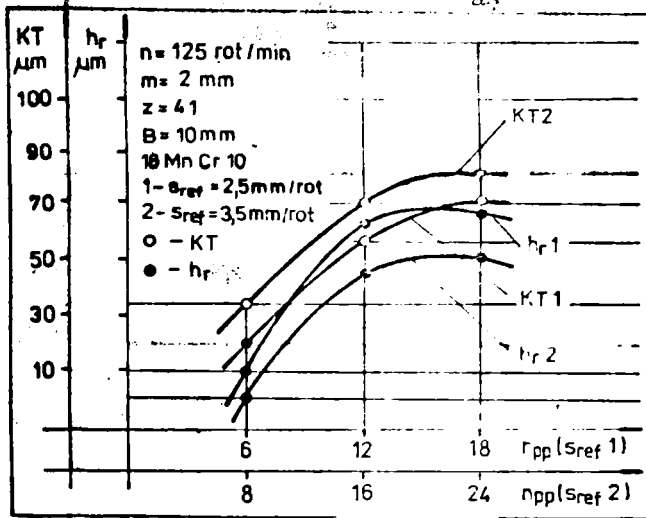


Fig.5.16. Variația uzurii KB_v , B_s funcție de s_a

spatele dintelui B_s , funcție de s_a . Se observă că pentru ambele tipuri de uzuri avem creșteri după care în jurul valorii de 4,5 mm/rot, curbele prezintă variații crescătoare cu creșterea lui s_a . Valorile uzurii KB_v și B_s sînt comparabile cu cele din literatura de specialitate /31/, /33/, /34/, /37/, /38/, /47/, îndeosebi pentru valorile uzurii B_s care ar impune reascuțirea FMC și care după cum se vede pentru $s_a = 4,5 \text{ mm/rot}$, are încă valori sub limitele STAS.

b. În condițiile aplicării CF în SAV cu Pa: tip 1 pentru MDFMC cu CA a avansului s-au ales două valori pentru avansul de

referință $s_{ref1} = 2,5$ mm/rot și $s_{ref2} = 3,5$ mm/rot, în condițiile
 ținerii acele v_{ag} pentru v_{ag} ($n = 125$ rot/min). Din analiza re-



zultatelor prezentate, figura 5.17., se observă că pentru oricare din uzurile luate drept limită, forma de variație a curbelor este aceeași, doar punctele de maxim sînt sensibil mutate din punctul de vedere al durabilității, adică rezultatele bune se obțin pentru $s_{ref} = 2,5$ mm/rot și în plus un lucru foarte bun este că pentru oricare s_{ref} , punctele

maxim corespund aceleiași durabilități față de oricare uzură luată drept limită. Acest fapt constituie o justificare tehnologică pentru cazul CA, pe baze științifice, privind aplicarea și dezvoltarea acestui sistem și pentru cazul v_{ag} .

În același timp, se poate preciza că maximum pentru KT sau h_r se manifestează (în condițiile aplicării danturării după Tip 1), pentru vitezele legate de precizia prelucrării, lucru ce va fi dezvoltat în capitolul 5.3.

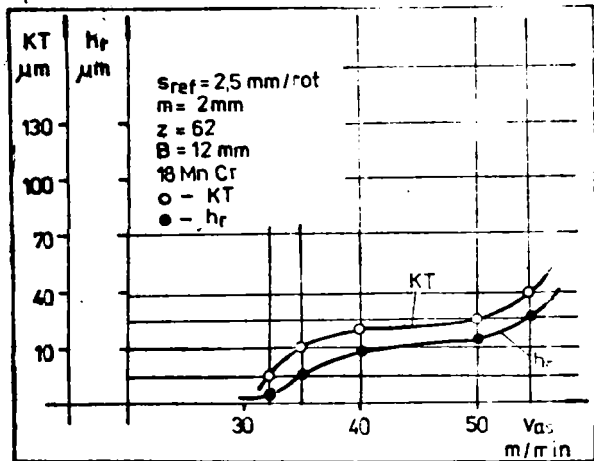


Fig. 5.18. Variația uzurii, funcție de v_{ag}

c. În mod asemănător s-au făcut determinări pentru valori constante ale avansului de referință și viteze de așchiere variabile, dar numai în aplicării CA a MDPAC, pentru rezințele încercărilor în fig. 5.18.

Semnificativ pentru condițiile danturării cu CA este faptul că pentru v_{ag} prinse în domeniul 40-50 m/min, variațiile ale uzurii prezintă domeni-

sensibil ablatitate, după care să avem punctele de inflexiune care evidențiază în continuare creșteri mari ale uzurii pentru v_{ag} 50 m/min. De fapt, aceste rezultate stabilite în condițiile industriale precizate, de asemenea constituie o verificare și argumentare științifică a faptului că în condițiile CA a avansului se pot utiliza v_{ag} medii (o referință medie), relativ ridicate înainte de a atinge creșteri rapide a uzurii.

5.2.3. Influența variației vitezei de așchiere asupra evoluției uzurii la danturarea cu FMC

a. MDFMC cu SCO și CA, CT în SAV cu Pax, Tip 1, $s_{ref} = 2,5$ mm/rot.

Din analiza rezultatelor prezentate în figura 5.19., se observă că în condițiile aplicării CA a avansului (curbele 2) variația uzurii KT și h_r prezintă puncte de maxim comun ($v_{ag} = 35$ m/min) deplasat față de cazul SCO spre dreapta. Acest fapt determină posibilitatea creșterii pentru v_{ag} , în condițiile CA a

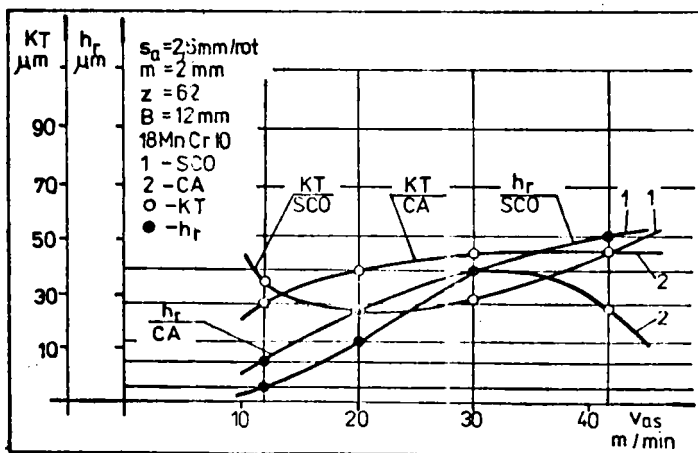


Fig.5.19. Influența variației vitezei, asupra uzurii MDFMC cu SCO și CA, CT în SAV cu Pax, Tip 1

avansului, de asemenea alura din dreapta curbelor de variație pentru CA arată o îmbunătățire a procesului de așchiere din punctul de vedere al durabilității FMC, pentru v_g mari cu valori ale uzurii mai mici decât în condițiile aplicării SCO pentru MDFMC.

Dacă se compară forma de variație a curbei 1 pentru KT cu 2, se observă că în condițiile creșterii v_{ag} , KT pentru CA este

mai bună, chiar scade ușor comparativ cu 1 pentru SCO, adică tocmai datorită aceluși "tranzitoriu special" al CA se obțin condiții mai bune pentru încărcarea pe dinți și deci pentru creșterea durabilității T a FMC.

Luând în considerare de fapt, efectul economic cel mai decisiv pentru CA, creșterea capacității de producție sau costul minim al prelucrării, se pot obține date hotărâtoare pentru acest procedeu analizând problemele aşchierii și din punctul de vedere al uzurii FMC raportată la numărul de piese prelucrate (n_{pp}), al uzurii specifice și mai ales al celui mai semnificativ îndicator, viteza uzurii măsurate.

În figura 5.20., se prezintă variația uzurii măsurate K_T și h_p , funcție de numărul de piese prelucrate. Se observă că în condițiile CA curbele de variație prezintă câte un punct de inflexiune și un punct de maxim. Și în acest caz semnificativă este de asemenea coincidența valorilor maxime pentru K_T și h_p . În condițiile condu-

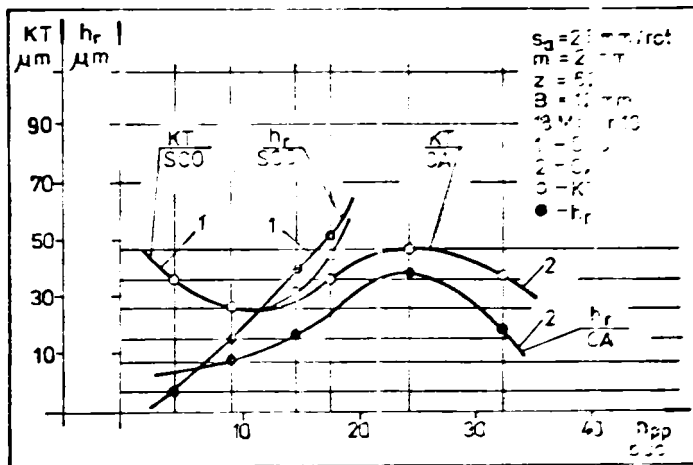


Fig.5.20. Variația uzurii funcție de n_{pp} , MDP1 cu SCO și CA, CT în SAV cu Max, Tip 1

cerii MDPMC cu SCO se observă că avem variații pentru K_T și h_p fără inflexiuni, iar K_T prezintă și un minim în timp ce h_p prezintă o creștere continuă, pentru $n_{pp} > 15$, ramura din dreapta punctului de minim este ascendentă și capătă valori mari, în verșe de pentru procedeu cu CA punctele de inflexiune sunt pentru $n_{pp} > 20$ și după aceste valori ramura din dreapta pentru a bele uzuri este descrescătoare.

In acest interval $n_{pp} = 25 \div 40$, piese prelucrate, rezultatele mai bune pentru KT și h_r corespund ramuri crescătoare a curbei durabilității totale (fig.3.8.), desigur acest domeniu definește câmpul de lucru al MDFMC pentru care uzura este minimă, pentru oricare dintre valorile ei de exprimare aleasă drept limită. In mod evident, se observă că de fapt creșterea capacității de producție este cu peste 60% RDC prelucrate comparativ cu modul de lucru cu SCO.

In figura 5.21., se poate observa o concentrare a curbelor de variație a uzurii specifice pentru cele două moduri de lucru, cu SCO și cu CA și ceea ce este și mai important din punctul de vedere al CA este faptul că uzura specifică pentru KT sau h_r are va-

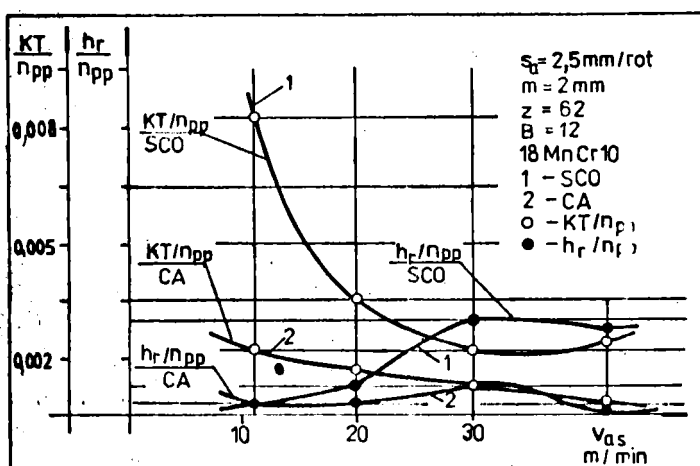


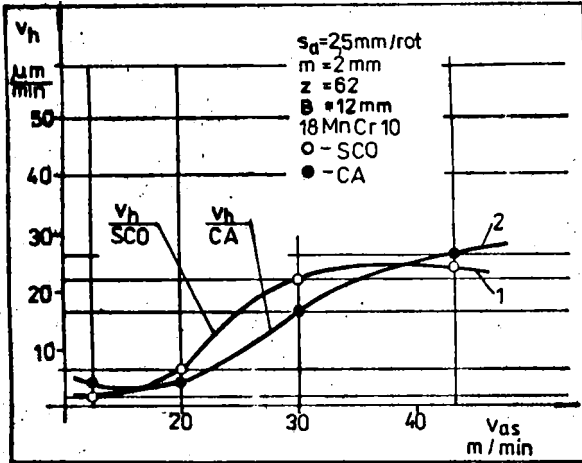
Fig.5.21. Variația uzurii specifice, MDFMC, cu CA și SCO, OT în SAV cu Pux, Tip 1

lorile cele mai mici. Trebuie subliniat încă odată faptul că punctele de maxim sau minim pentru cele două moduri de lucru sînt de asemenea în dreptul valorii $v_{ag} = 30 \text{ m/min}$.

Așa cum s-a mai precizat, cel mai important mod de apreciere și interpretare al capacității de așchiere al sculelor așchietoare și semnificativ pentru aprecierea durabilității acestora, mai ales în tehnica conducerii automate (sau CA), a regimurilor de lucru pe MU este viteza uzurii măsurate.

In figura 5.22., se observă că pentru modul de lucru cu SCO (curba 1), și cu CA (curba 2), pentru v_{ag} pînă la 30 m/min ,

ramură din stînga a oricărei curbe este crescătoare și cu valori mai mici pentru cazul CA, dar punctul de inflexiune al vitezei uzu-



rării măsurate (v_h), este în jurul valorii de 30m/min, comun pentru cele două moduri de lucru.

În condițiile CA pînă la valori de circa 35 m/min v_h este întrucît va mai redusă față de modul de lucru cu SCO.

b. MDFPMO cu SCO și CA, OT în SAV cu Pax, Tip 1, $u_{ref} = 4$ mm/rot.

Precînd de la consi-

Fig.5.22. Variația v_h , MDFPMO cu SCO și CA în capitolul 2.1., și OT în SAV cu Pax, Tip 1

derăm pentru cazul tehnologic Tip 1, condițiile de prelucrare au fost bine precizate, este necesar a se verifica dacă nu cumva creșterea avansului de referință la valori mai mari (peste 2 mm/rot) nu este mai economic și cu rezultate bune în condițiile variației v_{ag} din punctul de vedere al durabilității PMO.

Din analiza curbelor de variație din figura 5.23., se observă de asemenea prezența punctelor de maxim pentru KT în aceiași zonă.

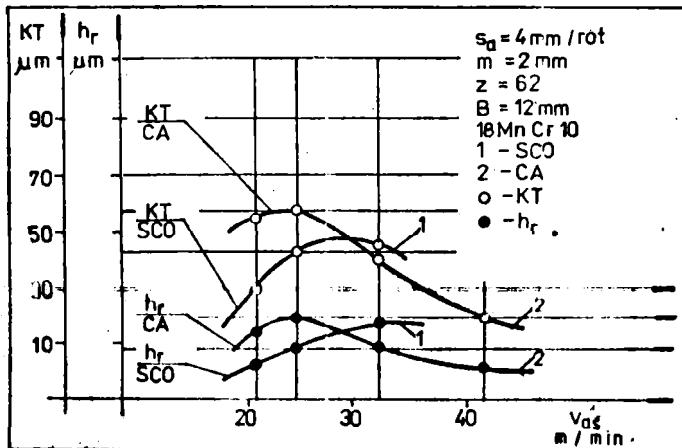


Fig.5.23. Variația uzurii funcție de v_{ag} , MDFPMO cu SCO și CA, CT în SAV cu Pax, Tip 1.

pentru ambele moduri de lucru. Însă în condițiile aplicării modului de lucru cu CA la creșteri semnificative ale lui v_{ag} , KT și h_r scade în vreme ce în condițiile conducerii MDFMC cu SCO, după circa 32 m/min acestea capătă numai valori crescătoare îndeosebi pentru uzura h_r , care are implicații majore privind reglajul MDFMC. Mai trebuie remarcat că valorile uzurii KT și h_r pentru cazul aplicării CA a MU sînt în același interval 0,005 - 0,053 mm, deși în acest caz avem s_{ref} și v_{ag} mari, fapt care confirmă încă odată, că în anumite intervale ale lui s_{ref} , acesta nu lucrează la modificări semnificative a valorilor uzurii deci a durabilității sculei așchietoare.

Rezultate foarte bune s-au obținut și din punctul de vedere al uzurii raportate la n_{pp} , în figura 5.24. se observă că pentru modul de lucru cu SCO, după $15 \div 20 n_{pp}$, uzura (deci durabilitatea T), este crescătoare și are pentru KT un punct de maxim, în vreme ce pentru h_r prezintă creșteri aproximativ cu n_{pp} . Pentru modul

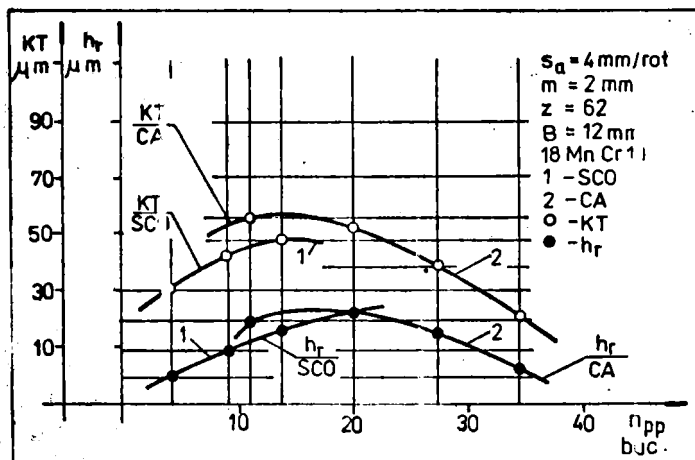


Fig.5.24. Variația uzurii funcție de n_{pp} , MDFMC cu SCO și CA, KT în SAV ou Pax, Tip 1

de lucru cu CA avem puncte de maxim și tendințe de minim în jurul aceluiași n_{pp} ca și în cazul $s_{ref} = 2,5 \text{ mm/rot}$, (fig.5.20.).

Analizînd curbele de variație pentru uzura specifică, reprezentate în figura 5.25., comparativ cu cele din figura 5.21. este semnificativ faptul că pentru cazul KT pentru $s_{ref} = 4 \text{ mm/rot}$, avem valori mari pentru ramura din stringa a curbei, oricum pentru cele două uzuri (KT și h_r), curbele de variație prezintă tendințe

de minim, care de asemenea sînt comune ambelor moduri de lucru a MU, în jurul valorilor de 35-40 m/min pentru v_{ag} .

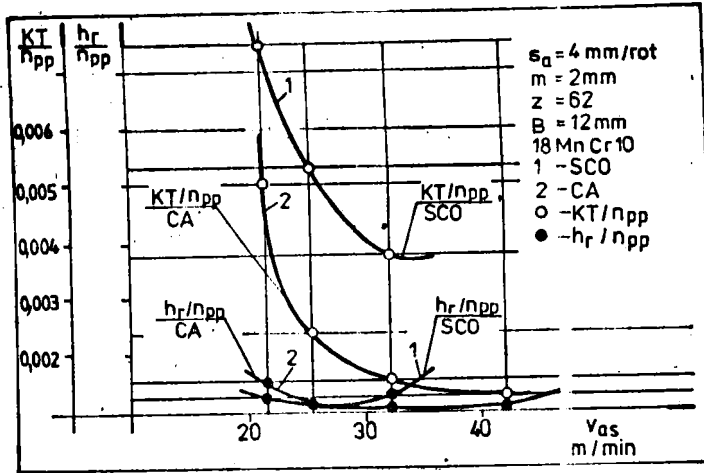


Fig. 5.25. Variatia uzurii specifice, MDFMG cu SCO și CA, CT în SAV cu Pax, Tip 1

Creșterea avansului (deci schimbarea dimensiunilor așchilor) a dus la creșteri ale uzurii KT pe fața de degajare și micșorarea uzurii h_r pe fața de așezare, pentru oricare dintre modurile de lucru ale MU, cu SCO sau CA.

În condițiile analizării variației v_h măsurate, pentru cele două moduri de lucru, curbele de variație aproape că se suprapun,

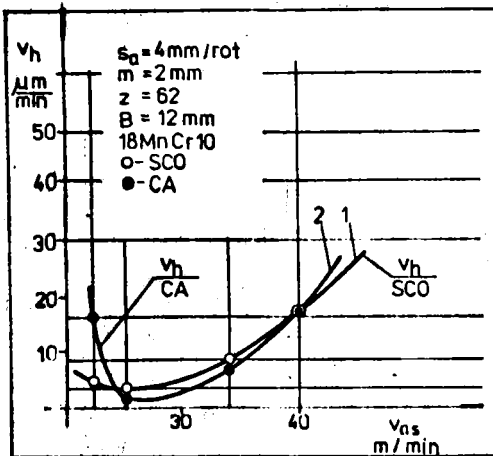


Fig. 5.26. Variatia v_h , MDFMG cu SCO și CA, CT în SAV cu Pax, Tip 1

figura 5.26., iar minimum acestora este în jurul lui $v_{ag} = 25 \text{ m/min}$. Trebuie remarcat faptul că deși pentru ramura din dreapta avem v_h crescătoare, totuși pentru o parte a lui $v_{ag} = 30 \text{ m/min}$ pentru care în condițiile $s_{ref} = 2,5 \text{ mm/rot}$, figura 5.22., v_h este maxim, în acest caz pentru CA valoarea acesteia este mult mai mică ($0,005 \text{ } \mu\text{m/min}$). De fapt rezultă clar că pentru același v_{ag} , valori crescătoare pentru s_a , nu influențează creșterea uzurii.

c. MDFMC cu SCO și CA, OT în CAV cu Pax, Tip 1, $s_{ref} = 2,5$ mm/rot și $s_{ref} = 4$ mm/rot

Dintr-o inerție nejustificată danturarea în CAV cu FMC, este un procedeu mai rar folosit în activitatea industrială. Totuși plecând de la datele cunoscute din literatura de specialitate /11/, /38/, /48/, referitor la îmbunătățirea durabilității sculelor așchietoare și a calității prelucrării s-a impus verificarea acestui procedeu pentru cele două moduri de lucru ale MDFMC.

În scopul lămuririi influenței avansului la danturare în condițiile conducerii MU cu CA s-au ales două avansuri de referință pentru acest caz ($s_{ref} = 2,5$ mm/rot și $s_{ref} = 4$ mm/rot).

În figura 5.27. sînt prezentate rezultatele încercărilor pentru cele două moduri de lucru ale MDFMC .

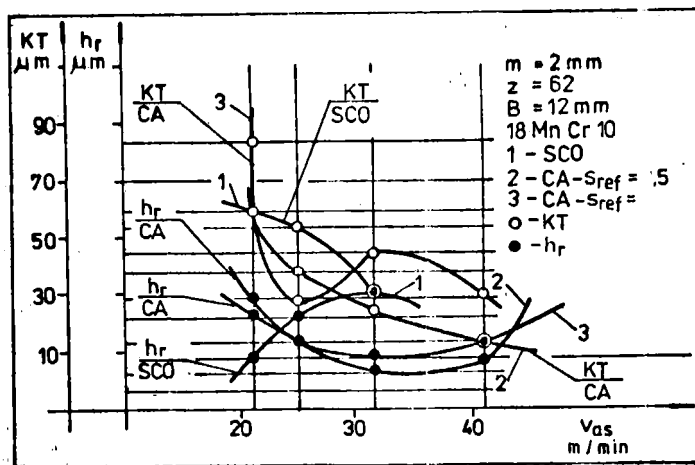


Fig.5.27.Variația uzurii funcție de v_{ag} , MDFMC cu SCO și CA, OT în CAV cu Pax, Tip 1

Ca o observație generală, trebuie remarcat că așa cum se aprecia pentru cazul FMC, în condițiile OT în CAV, uzura este mai mică sau cel puțin egală cu cea în condițiile CT în CAV. Desigur aceste rezultate trebuie corolate cu cele referitoare la precizia de prelucrare (capitolul 5.3.). Pentru a identifica influența lui s_{ref} asupra evoluției uzurii, deci a durabilității FMC se poate arăta că în cazul uzurii h_r , curbele 2 și 3, prezintă o variație asemănătoare, cu un minim aproximativ comun vitezei v_{ag} de circa 35 m/min, fapt care arată că acest procedeu mută punctul de minim spre v_{ag} mai mari.

Pentru curbele 2 și 3 ale uzurii KT, rezultate mai bune

se obțin pentru $s_{ref} = 2,5$ mm/rot, care prezintă o îmbunătățire a capacității de așchiere a FMC în domeniul $v_{ag} 25 \div 45$ m/min. Cel puțin pentru cele prezentate pînă acum se constată o delimitare a câmpului de lucru al MDFMC în domeniul $v_{ag} = 30 \div 45$ m/min, pentru oricare uzură aleasă drept limită câmpul de distribuție este în domeniul $0,005 - 0,05$ mm, rezultate care recomandă dezvoltarea aplicării conducerii MDFMC cu CA în JAV.

Dacă se analizează uzura KT și h_r funcție de n_{pp} , se observă că rezultatele sînt asemănătoare analizate (fig. 5.20. și 5.23.), pentru MDFMC cu SCO, așa cum se vede din figura 5.28., adică uzura h_r crește peste $n_{pp} = 15$. În condițiile conducerii MU cu CA pentru

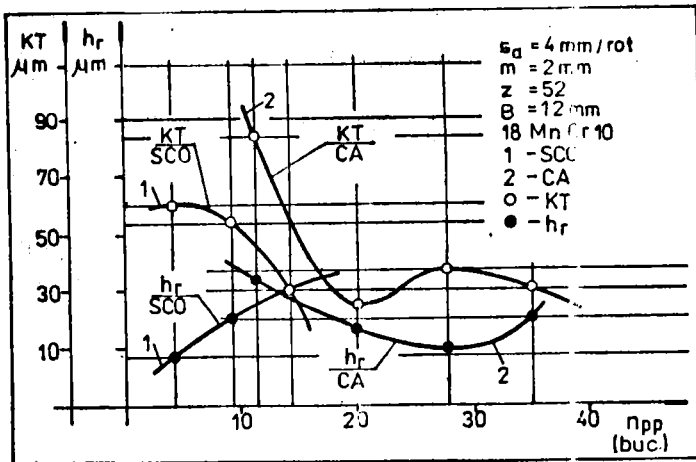


Fig. 5.28. Variația uzurii funcție de n_{pp} , MDFMC cu SCO și CA, CT în CAV cu Fax, Tip 1

oricare dintre uzuri luate drept limită, n_{pp} maxim prelucrate pentru care avem durabilitate optimă este mai mare de 25 piese prelucrate, asemănător celor două cazuri analizate anterior.

Dacă se analizează rezultatele încercărilor din punctul de vedere al uzurii specifice, figura 5.29., se observă că pentru condițiile danturării în CAV variația curbei 2 pentru h_r este asemănătoare cu cea din figura 5.21. și 5.25., (CT în SAV).

În același timp pentru KT avem valori sensibile ridicate față de cele două situații prezentate în figura 5.11. și 5.20., de forma de variație de asemenea se apropie de cele două cazuri.

Domeniul de lucru al MU este de asemenea în limitele $v_{ag} 35$ m/min, asemănător cazului CT în SAV.

Se mai poate preciza de asemenea că pentru uzura KT în condițiile aplicării modului de lucru cu CA, aceasta prezintă puncte de inflexiune, cu valori maxime de asemenea pentru ramura din stînga a curbei asemănător celor două cazuri analizate.

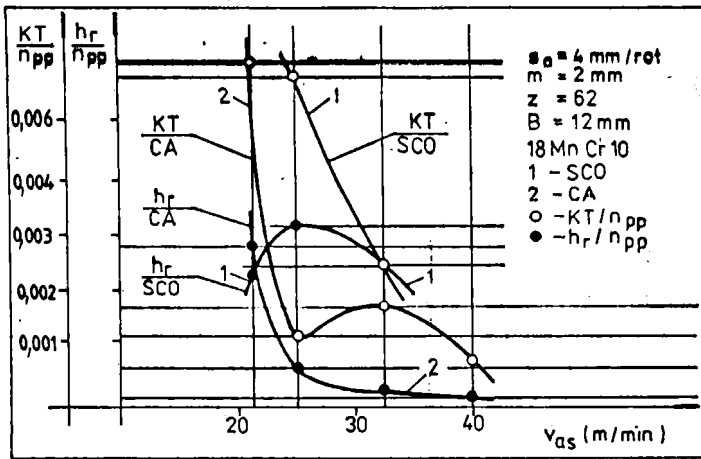


Fig. 5.29. Variatia uzurii specifice, MDFMC cu SCO și CA, CT în GAV cu Pax, Tip 1

Dacă se analizează variația v_h măsurată, figura 5.30., aceasta este asemănătoare pentru modul de lucru cu CA, celei din

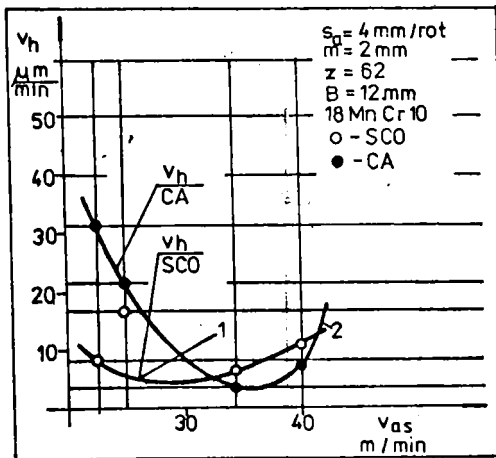


Fig. 5.30. Variatia v_h , MDFMC cu SCO și CA, CT în GAV cu Pax, Tip 1

figura 5.26., minimumul de asemenea corespunde pentru cele două moduri de conducere a MDFMC, valorii lui $v_{as} = 35 \text{ m/min}$. În condițiile aplicării CT în GAV se poate ușor observa că minimumul lui v_h este cu mult superior ca valoarea corespunzătoare a lui v_{as} față de cazul CT în GAV.

Întâi deci, că așa cum era de așteptat cel mai important mod de analiză a uzurii sculei, (a durabilității T), v_h este evident mai bun în condițiile danturării în

GAV, așa cum se aprecia și în lucrările de specialitate (pentru alte scule decât FMC) dar numai pentru frezarea suprafețelor.

În acest mod s-a constatat că și pentru cazul denturării se obțin rezultate bune din punct de vedere al durabilității FMC, care să permită creșterea lui v_{ag} în condițiile aplicării CT în CAV.

d. MDFMC cu SCO și CA, CT în SAV cu Pra, Tip 1, $s_{ref}=4$ mm/rot

Modul de lucru pentru acest caz, ca de altfel, pentru toate celelalte, a fost prezentat în capitolul 2.1.3., unde se face precizarea că MDFMC lucrează cu CA la avansului și în perioada pătrunderii radiale, după care se continuă preluczarea ca în cazul CT în SAV cu Pra. Așa cum s-a precizat, geometria ochiei este puțin schimbată, deci și desfășurarea regimului tranzitoriu este evident alta, fapt care trebuie să se reflecte în încălzirea pe dintore FMC, deci în pragul uzurii sculei.

În figura 5.31., se observă că datorită modului de lucru schimbător al FMC (pătrunderea este către adâncimea dintelui și apoi lungimea lui), forma de variație pentru curbele KT și h_r este diferentă

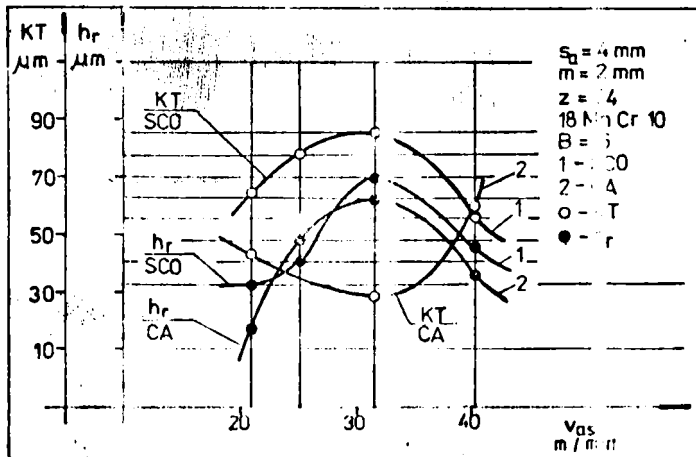


Fig.5.31. Variația uzurii funcție de v_{ag} , MDFMC cu SCO și CA, CT în SAV cu Pra, Tip 1.

tă față de cazurile cu Pra. După cum se vede valoarea cea mai mare măsurată pentru KT cazul SCO, corespunde cu valoarea cea mai mică pentru KT cazul CA, în jurul valorii lui v_{ag} de circa 35 m/min, fapt care semnifică condiții de achiere mai bune pentru FMC în cazul conductivității cu CA pentru Pra. Pentru curbele 1 și 2, KT și h_r pentru modul de lucru cu SCO avem maximum comun, în jurul valorii de circa $v_{ag} = 30$ m/min, care coincide cu minimum lui KT pentru CA, cu precizarea că și în acest caz valoarea cea mai mare pentru KT este sub valoarea punctului de maximum

corespunzător modului de lucru cu SCO.

Analizând rezultatele prin prisma interpretării uzurii KT și h_r funcție de n_{pp} , figura 5.32., se observă că pentru cazul

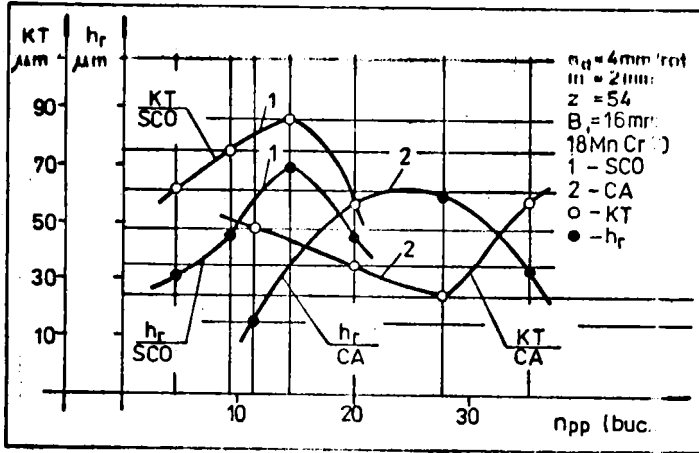


Fig. 5.32. Varietia uzurii functie de n_{pp} , MDFA 1 cu SCO si CA, CT in SAV cu Pra, Tip 1

CA, curba 2 pentru KT, prezintă aceeași alură, ca în figura 5.26 și are minimum în jurul valorii de 28 n_{pp} . Pentru celelalte curbe (SCO și CA), forma de variație este asemănătoare, evident pentru modul de lucru cu CA, uzura h_r prezintă un maxim pentru $n_{pp} > 20$.

Din analiza rezultatelor prezentate în figura 5.32., se mai observă că valorile extreme pentru cele două uzuri măsurate și reprezentate funcție de n_{pp} , sînt situate sensibil la valori mari ale lui n_{pp} , pentru danturarea cu CA față de n_{pp} pentru modul de lucru cu SCO, totodată ele sînt mai mici și ca valoare absolută pentru cazul CA.

În condițiile analizării și pentru acest caz a uzurii specifice funcție de v_{ag} , figura 5.33., rezultatele sînt de asemenea superioare pentru modul de lucru a MU cu CA.

De remarcat, că punctul de minim al uzurii, deci de maxim al durabilității T coincide pentru ambele moduri de lucru, pentru KT în jurul valorii lui v_{ag} de circa 35 m/min.

Se mai poate remarca faptul că pentru acest CT, avem alură asemănătoare pentru fiecare caz al uzurii (KT sau h_r), luat drept limită a uzurii măsurate. Comparativ cu CT analizate anterior (a, b, c), punctele de minim ale uzurii specifice sînt

în jurul aceleiași valori de $0,001 \mu\text{m}/n_{pp}$, fapt care recomandă acest procedeu de danturare în SAV cu Pra, pentru CA a avansului la MDFC.

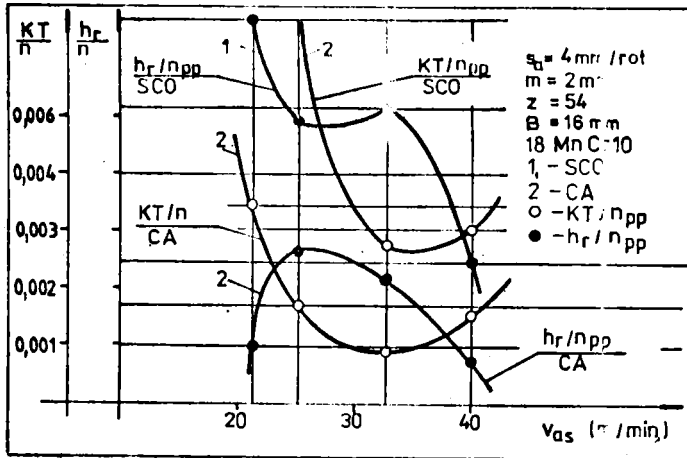


Fig. 5.33. Variatia uzurii specifice, MDFMC cu SCO și CA, CT în SAV cu Pra, Tip 1

În figura 5.34., se prezintă graficul variației vitezei uzurii măsurate v_h , funcție de v_{as} , unde după cum se vede pentru ambele moduri de lucru (cu SCO și CA), avem ramuri ascendente și descendente cu puncte de inflexiune. De remarcat pentru acest este deosebirea evidentă între punctele de minim ale lui v_h , dacă pentru SCO avem v_h minim corespunzător lui $v_{as} = 25$ m/m. în cazul CA, acesta corespunde pentru v_{as} de circa 35 m/min, mai bun chiar decât cazul b, (figura 5.26., nu însă ca și viteze absolute ale lui v_h , care sunt mult mai mari, de circa 0,003 $\mu\text{m}/\text{min}$, față de 0,001 $\mu\text{m}/\text{min}$, figura 5.26. și 5.30.

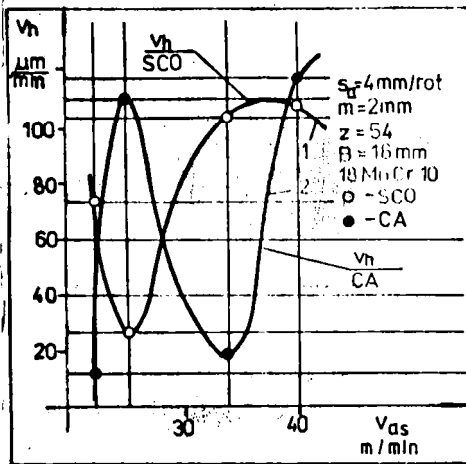


Fig. 5.34. Variatia v_h , MDFMC cu SCO și CA, CT în SAV cu Pra, Tip 1

e. MDFMC cu SCO și CA, CT în CAV cu Pra, Tip 1, s_{ref} = 4 mm/rot. Modul de lucru pentru cele două procedee la danturarea cu SCO sau CA sînt prezentate în capitolul 2.1.3., figura 2.10. și 2.11.

care se precizează în cazul CA pentru cele două avansuri instalate, variația lungimii așchii care după cum se vede este fundamental schimbată față de modul de conducere a MU cu SCO. În consecință și rezultatele determinărilor sînt schimbate pentru uzura măsurată în sensul că punctele cu valorile cele mai mici ale uzurii pentru care avem v_{ag} mari, figura 5.35., sînt mult mutate

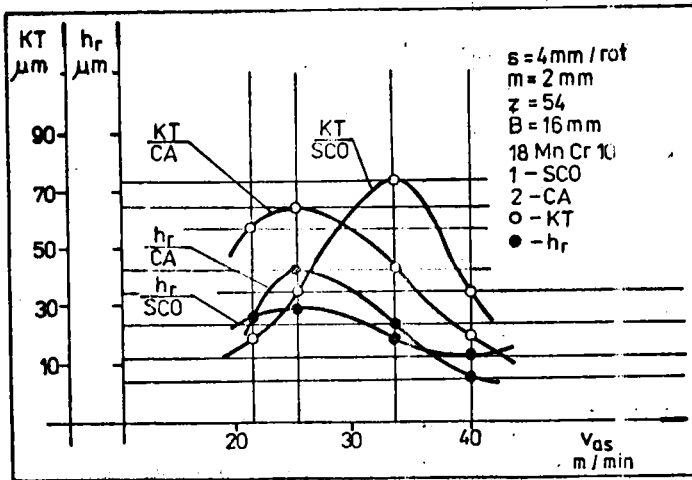


Fig.5.35. Variația uzurii funcția de v_{ag} , MDFMO cu SCO și CA, UT în OAV cu lra, Tip 1

spre v_{ag} mai mari (circa 40 m/min), care puncte de asemenea prezintă o coincidență a valorilor minime ale uzurii corespunzătoare lui v_{ag} maxim. Acest fapt confirmă încă odată ca de altfel și pentru cazul c (figura 5.27.), creșterea durabilității T la danturare în OAV. De fapt și pentru cazurile discutate anterior valorile uzurii prezintă minime între 0,01-0,03 mm și în același timp pentru orice mod de lucru valorile uzurii măsurate pentru KT sau h_r sînt în același domeniu și mai mici aproape întotdeauna pentru h_r , îndeosebi în cazul MDFMO cu CA, rezultate normale în condițiile precizate în capitolele anterioare referitoare la condițiile așchierii cu CA. Ceea ce merită de asemenea remarcat din figurile 5.35., 5.27. este faptul că uzurile prezintă punctele de maxim pentru valori ale v_{ag} de circa 25 m/min (cazul CA), care de fapt trebuie evitate în procesul de așchiere.

Așa cum se vede din figura 5.36., rezultatele determinărilor pentru variația uzurii funcție de n_{pp} sînt efectiv mai bune

pentru cazul CA unde de asemenea se remarcă o deplasare a valorilor uzurii măsurate (minime) spre $35 \div 40 n_{pp}$, în timp ce pentru cazul SCO aceste puncte se află în limitele uzurii valorilor corespunzătoare lui $n_{pp} = 10 \div 15 n_{min}$. Deplasarea valorilor mai mici determină

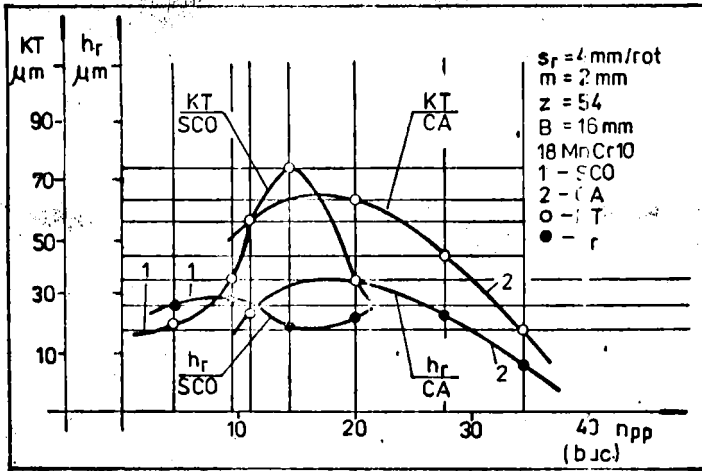


Fig. 5.36. Variatia uzurii functie de n_{pp} . MDFMC cu SCO și CA, CT în CAV cu Pra, Tip 1

te pentru condițiile danturării cu CA spre $n_{pp} > 3$ se explică și prin creșterea stabilității tăgurilor sculei, FMC în condițiile desfășurării unui proces de așchiere care asigură laze de destindere a încrețirii termice și mecanice prin variația continuă a lungimii așchii conform cu datele reale ale așchierii.

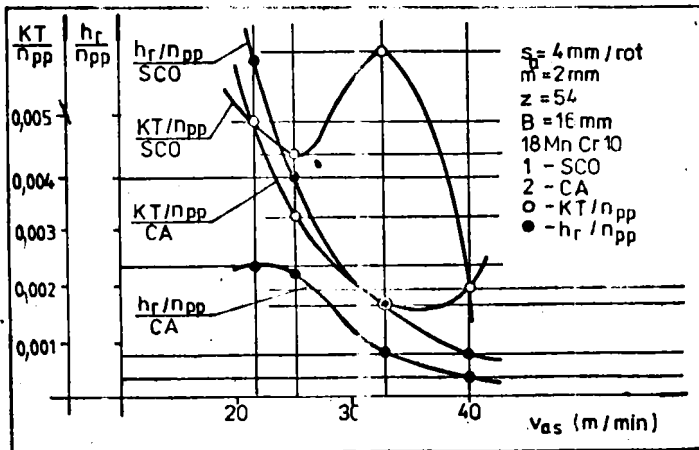


Fig. 5.37. Variatia uzurii specifice, MDFMC cu SCO și CA, CT în CAV cu Pra, Tip 1

Analizând forma de variație a curbelor din figura 5.37., se observă că argumentele și considerațiile referitoare la stabilizarea procesului de așchiere în condițiile CA sînt susținute de aspectul ramurilor din stînga pentru KT și h_p , care aproape se suprapun, în vreme ce pentru cazul SCO sînt condiții și rezultate diferite pentru KT și h_p . De asemenea se poate afirma că coincidența celor mai mici valori a curbelor de uzură este de asemenea la valori ridicate ale lui v_{a3} de circa 35-40 m/min. Se poate preciza că oricare ar fi valoarea lui v_{a3} , uzurile în cazul CA sînt mai mici decît la SCO, ca valori absolute, îndeosebi pentru h_p .

Pentru acest caz însă se observă că viteza uzurii măsurată

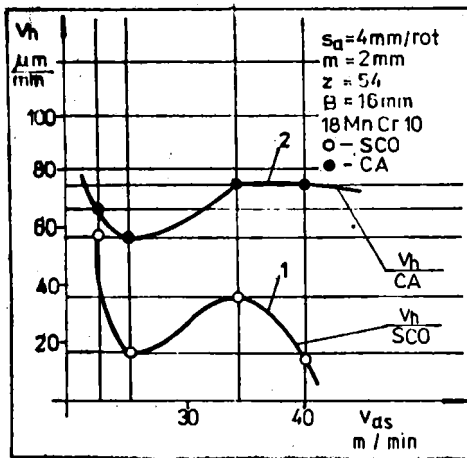


Fig.5.38.Variația v_h , MDFMC cu SCO și CA, CT în CAV cu h_p Bra, Tip 1

ne, care delimitează în mod obiectiv pentru ambele moduri de lucru, domeniul de optim pentru v_{a3} .

5.2.4. Studiul influenței variației continue a v_{a3} , asupra evoluției uzurii FMC

Condiții generale

MDFMC, permite variația continuă a turăției, deci a v_{a3} , într-un domeniu ales, de aceea în vederea stabilirii bazelor tehnologice de calcul a v_{a3} pentru CA și a vitezei, era necesară stabilirea comportării FMC din punctul de vedere pentru v_{a3} variabil continuu în proces. În acest scop s-au ales trei intervale de variație ale v_{a3} , corespunzător turăției n_{ma3} în domeniile: 63÷100

este mai mare ca valori determinate pentru CA față de mărimea de lucru cu SCO, totuși se remarcă o îmbunătățire calitativă evidentă pentru acest procedeu, deoarece pentru v_{a3} 30 m/min, avem de fapt o stabilizare a acesteia, ceea ce avantajează capacitatea de așchiere a FMC, pentru care crește intervalul T (figura 3.8., cap.3.2.), deci durabilitatea efectivă a FMC.

Cele două curbe de variație prezintă de asemenea pentru valori aproximativ egale ale lui v_{a3} puncte de inflexi-

rot/min; 100+160 rot/min; 160+250 rot/min. Deoarece nu se poate stabili de pe acum modul cum va lucra sistemul CA, pentru regimul tranzițoriu în condițiile aplicării și a CA pentru v_{ag} , considerațiile ce se vor face sînt evident determinate pentru situații în care ar trebui să se aplece FMC și pentru v_{ag} mari sau mici, față de o referință ce urmează să se stabilească într-un mod anumit.

a. MDFMC cu SCO, CT în SAV cu Pax Tip 1, $s_{ref} = 2,5$ mm/rot

Intervalul turațiilor corespunde unui domeniu al lui v_{ag} cuprins între 12-50 m/min suficient de semnificativ pentru danturarea cu FMC din oțel rapid, realizabil de fapt manual prin variatorul propriu al MDFMC. Reprezentarea variației curbelor de uzură KT și h_r s-a făcut în aceste condiții funcție de timp, (de lucru), evident adecvat scopului urmărit. În figura 5.39., sînt reprezentate variațiile pentru KT și h_r funcție de timp (T) și intervalul vitezelor I_v . Din analiza graficelor se observă că există un anumit minim al uzurii pentru un anumit I_v , ceea ce dovedește că variația necesară a v_{ag} este limitată

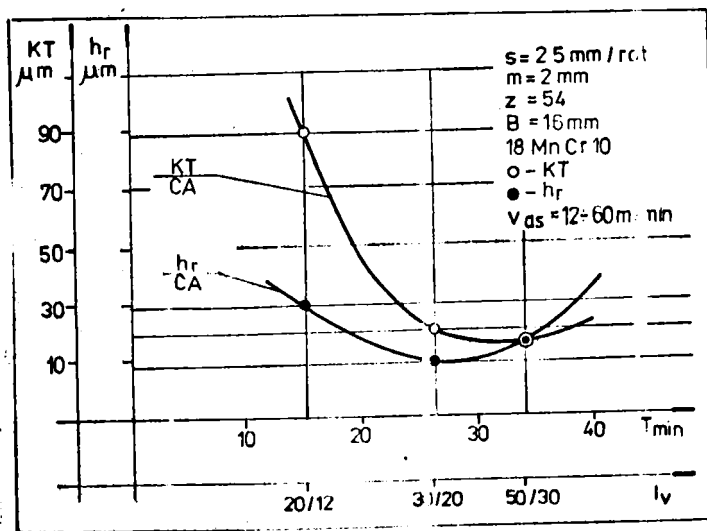


Fig.5.39. Variația uzurii, v_{ag} variabil, MDFMC cu SCO, CT în SAV cu Pax, Tip 1

la I_v de circa 30-50 m/min. Din analiza graficelor se observă o variație aproximativ asemănătoare pentru cele două uzuri KT și h_r cu valori maxime corespunzătoare aceluiași interval I_v de circa 20 m/min și o îmbunătățire a uzurii KT comparativ cu cazul v_{ag} constant, pentru I_v mai mari de 30 m/min. În același timp se poate arăta că pentru KT

îmbunătățirea obținută, înseamnă o oarecare stabilizare a acesteia în intervalul $v_v = 30\div 50$ m/min, datorită schimbării geometriei așchii în mod avantajos pentru desfășurarea procesului de așchiere la viteze variabile. Valorile intervalului v_v pentru care avem puncte de minim ale uzurilor sînt comparabile cu cele din literatura de specialitate, considerate ca foarte bune pentru FMC din oțel rapid.

b. MDFMC cu SCO, CT în SAV și în CAV, cu Pax, Tip 1, $s_{ref} = 4$ mm/rot

Pentru acest caz al utilizării unui avans de referință mai mare remarcăm o concentrare a distribuției curbelor de uzură pentru ambele moduri de lucru mai puțin pentru cazul uzurii KT în CAV.

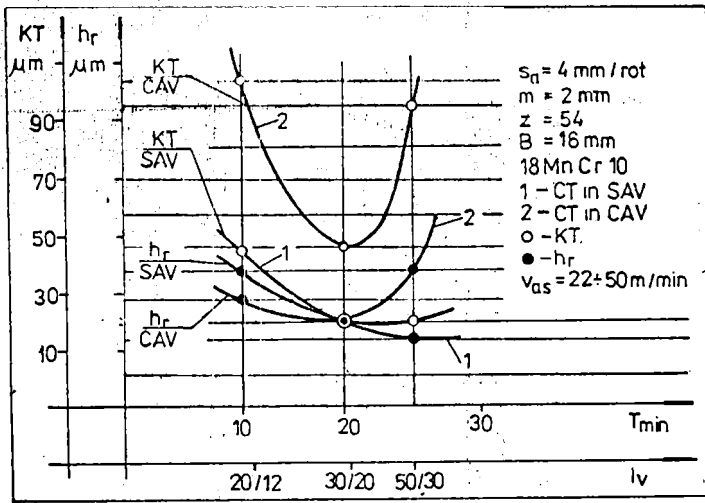


Fig.5.40. Variația uzurii, pentru v_{as} variabil, MDFMC cu SCO, CT în SAV și în CAV, cu Pax, Tip 1

De fapt forma de variație pentru KT în cazul în CAV arată o concentrare a procesului uzurii pentru creșteri mici ale v_{as} , ceea ce nu recomandă utilizarea drept limită a uzurii, pe KT în condițiile aplicării procedurii în CAV cu v_{as} variabil continuu.

În condițiile stabilirii lui h_r drept limită a uzurii (care de fapt este și cel mai obișnuit), remarcăm că minimum atenția este cel mai avantajos tot pentru procedeul SAV, la care de fapt avem rezultate bune și pentru KT. Oricum, trebuie precizat că pentru cele analizate pînă acum, ca și în continuare de fapt,

optimumul lui $v_{a\dot{s}}$, corespunde pentru KT și h_r aflat în intervalul 0,01-0,03 mm care reprezintă de fapt un rezultat foarte bun pentru CT utilizat, mai ales dacă reținem că regimurile de lucru utilizate sînt dintre cele mai ridicate permise de MDFMC.

În condițiile analizării celui mai important indicator, al vitezei uzurii măsurate v_h , pentru acest caz se observă că rezultate foarte bune se obțin de asemenea pentru cazul danturării în SAV și așa cum era de așteptat fără influențe din partea variației avansului față de uzură. Punctul

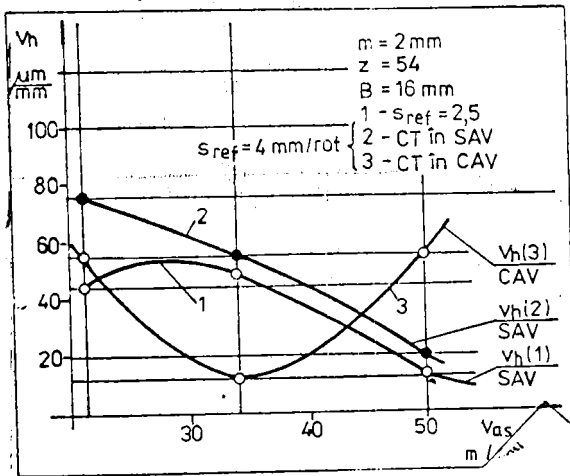


Fig. 5.41. Variatiya v_h , MDFMC cu SCO, CT în SAV și în CAV, cu PaX, Tip 1

semănător cu valoare procedelor fără $v_{a\dot{s}}$ variații în timpul procedurii danturării. Oricum maximum pentru procedeul danturării în CAV este în domeniul maximumului celor două cazuri de danturare cu s_a diferit dar în SAV.

c. MDFMC cu SCO, CT în SAV și în CAV cu Pra, Tip 1, $s_{ref}=4$ mm/rot

Rezultate foarte bune se obțin și pentru procedeul danturării cu pătrundere radială, de asemenea tot pentru h_r luat drept limită a uzurii măsurate și de data aceasta în mod deosebit pentru cazul danturării în CAV, figura 5.42. Se poate face acciagi precizare și în acest caz și anume aceea că cele două curbe pentru KT, dau minim comun și apoi ramura din dreapta este crescătoare pe valori mult mai mari comparabil cu h_r . Valori bune pentru h_r se obțin și pentru cazul danturării în SAV în același interval I_v ca și pentru cele două cazuri mai înainte discutate (fig. 5.39., 5.40.).

Minimumul curbei h_r pentru cazul în CAV, corespunde la $v_{a\dot{s}} = 40$ m/min, ceea ce constituie un argument pentru alegerea modului de

de minim este absolut comun, figura 5.41., pentru cele două cazuri în SAV cu avans diferit și anume după cum se vede corespunde $v_{a\dot{s}} = 50$ m/min, ceea ce înseamnă că față de cazurile mai înainte analizate pentru prima dată se obțin valori foarte bune pentru $v_{a\dot{s}}$ corespunzător minimumului pentru v_h .

Pentru cazul în CAV minimumul lui v_h corespunde valorilor $v_{a\dot{s}}$ de circa 35 m/min, așadar variații în timpul procedurii

lucru în CAV pentru procedeul pătrunderii cu Pra, cu implicații bune asupra creșterii durabilității FMC.

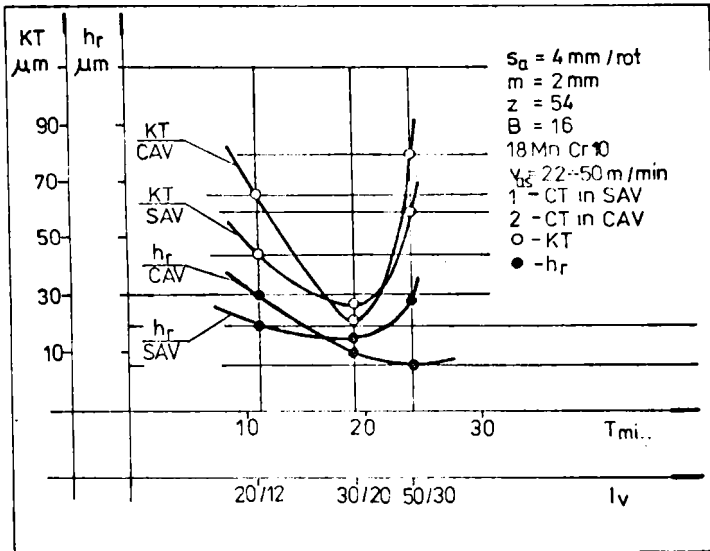


Fig. 5.42. Variația uzurii, pentru v_{ag} variabil, MDFMC cu SCO, CT în SAV și în CAV, cu Pra, Tip 1

În condițiile danturării cu avans de pătrundere Pra, forma de variație a curbelor vitezei uzurii măsurate v_h , confirmă și pentru cazul vitezei de așchiere variabile condiții mai bune pentru așchiere deci creșterea durabilității T a FMC, pentru danturarea în CAV. Minimum lui v_h (deci maximum lui T), corespunde de asemenea pentru $v_{as} = 5$ / ... , ...

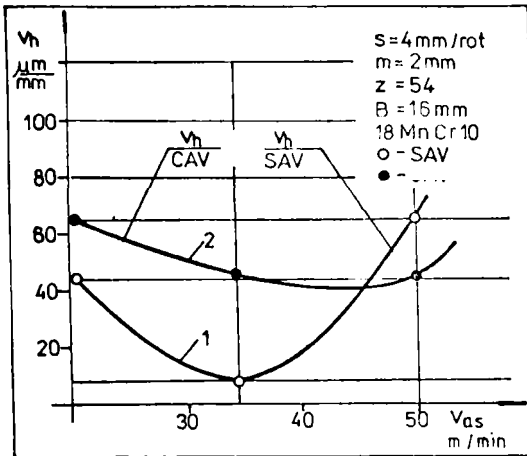


Fig. 5.43. Variația v_h , MDFMC cu SCO, CT în SAV și în CAV, cu Pra

fapt care constituie un argument științific în avantajul danturării în CAV și o confirmare a stabilității tăgurilor FMC în

durabilității T a FMC, pentru danturarea în CAV. Minimum lui v_h (deci maximum lui T), corespunde de asemenea pentru $v_{as} = 5$ / ... , ... și pentru danturarea cu v_{ag} variabil după procedeul în CAV cu Pra. Deși procedeul în SAV are minimum lui v_h sub valoarea pentru procedeul în CAV, totuși forma de variație a lui v_h pentru procedeul în CAV este mai bună, prezintă creșteri și descreșteri mici în intervalul $v_{as} = 20-50 \text{ m/min}$,

procesul de aşchiere, aşa cum se vede din Figura 5.43.

Procedeul danturării în SAV prezintă un minim pentru v_h în jurul valorilor lui v_{ag} de circa 35 m/min, rezultate absolut normale şi comparativ cu celelalte procedee în aceleaşi intervale pentru v_{ag} . În aceleaşi condiţii se poate evidenţia şi pentru acest caz analizat, că pentru viteze de aşchiere mai mici de 30 m/min pentru FMC din oţel rapid avem v_h mari, care dezavantajează comportarea FMC în procesul aşchierii din punctul de vedere al durabilităţii acesteia.

5.2.5. Studiul influenţei variaţiei v_{ag} asupra evoluţiei uzurii la danturarea roţilor dinţate cu dinţi înclinaţi

Aspecte legate de evoluţia danturării RDC cu dinţi înclinaţi, sînt relevate pentru FMC modul 2,5 mm şi material de prelucrat cu caracteristici mecanice superioare (tabelul 5.3.), faţă de cazul anterior. În figura 5.44. se observă pentru cele două moduri ale danturării, o concentrare a curbelor de evoluţie a uzurii. Rezultate

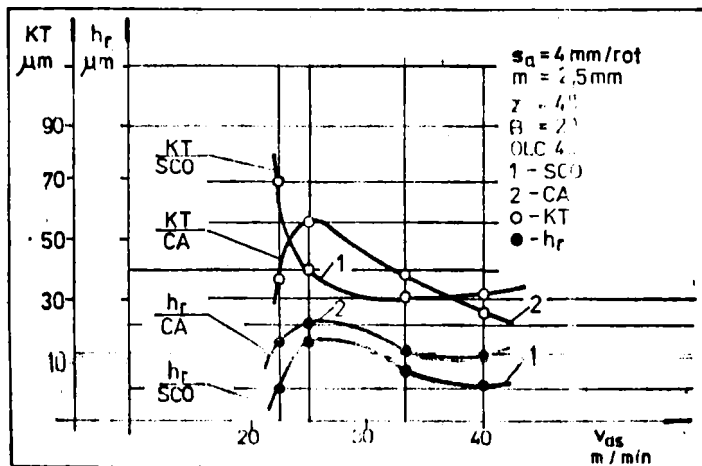


Fig.5.44. Variaţia uzurii funcţie de v_{ag} , MDFMC cu SCO şi CA, CT în SAV cu Pax, Tip 1, RDC cu dinţi înclinaţi

te mai bune se obţin pentru uzura KT în cazul CA fiind după cum se vede punctul de uzură mai mică determinată. (deci le maxim al durabilităţii T) corespunde pentru $v_{ag} = 40$ m/min superioară cazului SCO chiar pentru maximum lui KT care este inferior de asemenea faţă de cazul SCO.

În condiţiile în care se alege limită a uzurii, h_r , se observă

că în domeniul $v_{ag} = 25-35$ m/min, forma de variație a acesteia este practic aceeași și prezintă valori de maxim aproape egale pentru domeniul anterior primului punct de inflexiune al curbei de uzură (figura 3.8.). Pentru cazul MDFMC cu CA punctul pentru cele mai mici valori ale lui h_r (de maxim ale lui T), corespunde pentru v_{ag} de circa 35 m/min, punct care pentru cazul SCO corespunde pentru v_{ag} de circa 40 m/min și unei evoluții a curbei aproape stabile. Aceste observații conduc la ideea că din punctul de vedere al stabilirii drept limită a uzurii a uneia dintre cele analizate pînă acum se recomandă uzura KT, care în cazul danturării RDC cu dinți înclinați pentru MDFMC cu CA are cea mai bună evoluție, adică spre durabilitate maximă corespunzătoare unor viteze de așchiere superioare.

Un mare rol în dezvoltarea fenomenului uzurii sculelor așchietoare, în mod deosebit pentru cele cu geometrie complexă, cum e cazul FMC, îl are modul de formare al așchiiilor, cu alte cuvinte geometria tipică procesului de așchiere pentru desprinderea

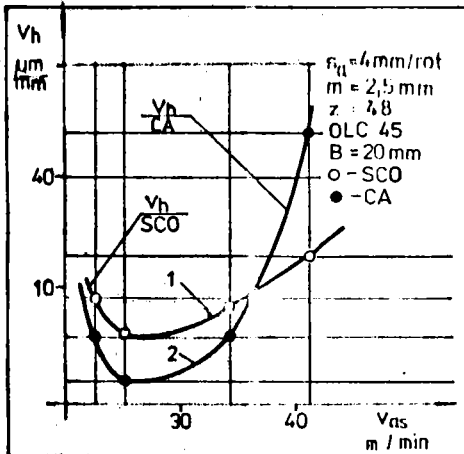


Fig. 5.45. Variația v_h , MDFMC cu SCO și CA, CT în SAV cu h_{Pax} , Tip 1, RDC cu dinți înclinați

plicabile pentru MDFMC cu CA printr-o mai bună geometrizare a așchiiilor conformă cu datele reale din proces, concluzii care impun și pentru cazul RDC cu dinți înclinați, prelucrarea mai bună și cu creșteri importante a capacității de producție, pe MDFMC cu CA, cu Pax și pentru Tip 1.

și conducerea așchiiilor din zona de lucru. Aceste constatări sînt evidențiate și pentru cazul danturării RDC cu dinți înclinați, unde așa cum se vede din figura 5.45., în mod deosebit v_h pentru cazul CA, prezintă puncte de minim pentru v_{ag} de circa 25 m/min, dar pentru valori ale acesteia de 0,003 $\mu\text{m}/\text{min}$, comparativ cu modul de lucru cu SCO unde pentru același domeniu al v_{ag} avem valori pentru v_h , apropiate de cele pentru cazurile anterioare. Aceste rezultate sînt ex-

5.2.6. Studiul influenței variației $v_{aș}$ asupra evoluției uzurii la danturarea RDC, pentru MDFMC cu SCO și CA, Tip 2

În mod imperios se impunea verificarea evoluției uzurii pentru FMC, la danturarea după cazul tehnologic denumit de Tip 2, în care de fapt după trecerea de finisare trebuie să se obțină RDC cu precizia cerută. Evident, și pentru acest caz s-au danturat RDC din procesul de fabricație al I.M.Cugir, pentru care datele corespunzătoare încercărilor sînt trecute pe graficele de evoluție a uzurii.

Aspecte legate de evoluția curbelor de uzură pentru KT și h_r sînt prezentate în figura 5.46., din a căror analiză se evidențiază un mod deosebit al evoluției uzurii pentru modul de lucru cu SCO sau CA al MDFMC. Pentru cele două cazuri ale uzurii analizate, pentru ambo-

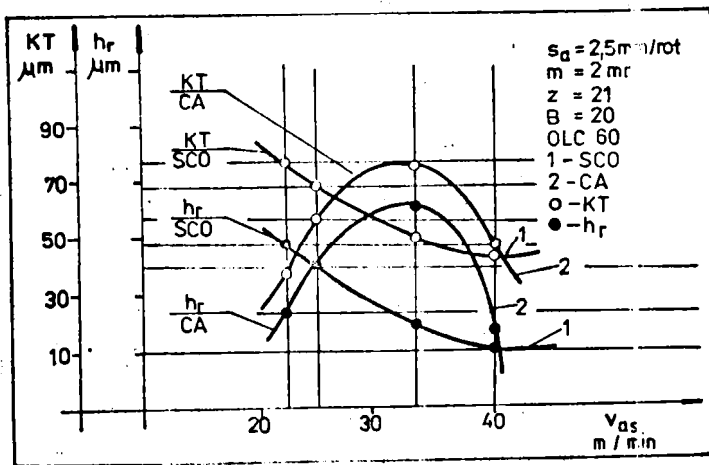


Fig. 5.46. Variația uzurii funcție de $v_{aș}$, MDFMC cu SCO și CA în SAV cu Pax, Tip 2

le moduri de lucru, aceste curbe au forma de variație asemănătoare pentru cazul considerat. Pentru crubele de uzură, modul de lucru cu SCO se observă că punctul de cea mai mică uzură (deci maximul lui h_r) corespunde în mod evident cu cel pentru modul de lucru cu CA, vitezei de așchiere de circa 40 m/min, mai mult chiar, cele două valori determinate pentru fiecare mod de lucru sînt apropiate și ca valoare absolută. În condițiile MDFMC cu CA se observă că cele două curbe au puncte de maxim pentru $v_{aș}$ de circa 32 m/min, mai mult chiar pentru $v_{aș} > 30$ m/min, condițiile așchierii sînt mai bune pentru CA, față de SCO unde avem o comportare cunoscută pentru faza inițială a uzurii cînd aceasta prezintă valori mari.

De fapt punctele de cea mai mică valoare, determinate, arată că de aici (v_{ag} circa 40 m/min), iarăși condițiile așchierii sînt mai bune pentru CA cînd așa cum se vede cele două curbe au încă ramură descendentă. Trebuie de asemenea precizat că și pentru acest caz regimurile de așchiere au avut valori superioare celor obișnuite (pentru trecerea de degroșare), cînd în mod normal de fapt nu se lucrează cu n_{max} (v_{max}), admis de MDFMC, ca în cazul nostru.

Dacă se analizează rezultatele încercărilor și pentru indicatorul v_h , se observă o evoluție asemănătoare pentru cele două uzuri în domeniul $v_{ag} = 15-35$ m/min, cu valori ușor superioare,

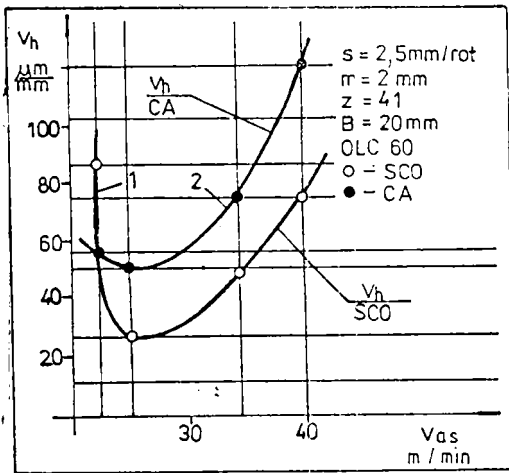


Fig. 5.47. Variația v_h , MDFMC cu CA și SCO, CT în SAV cu v_h Pax, Tip 2

la 60 % mai multe RDC, ceea ce înseamnă că raportînd capacitatea de lucru, deci durabilitatea FMC la n_{pp} , durabilitatea ei este oricum mai bună, comparativ cu modul de lucru cu SCO, pentru un n_{pp} dat. Valorile mai ridicate ale uzurii pentru acest caz tehnologic (Tip 2), sînt explicabile dacă se consideră faptul că s-au adoptat aceleași regimuri de așchiere (ridicate) pentru material îmbunătățit, cu caracteristici mecanice superioare cazurilor anterioare analizate.

Așa cum s-a precizat în capitolul 3.1., în condițiile FMC se poate vorbi despre uzura pe dinte și în mod deosebit în cazul FMC despre uzura de la dinte la dinte. Este important de știut dacă în condițiile reglării regimurilor de așchiere (în mod conti-

nt , c -
ra 5.47. De remarcă de aseme-
nenea coincidența zonelor de
minim și de maxim pentru ce-
le două uzuri. Pentru acest
caz analizat trebuie preci-
zat că trecerea de degroșare
s-a realizat pe MDFMC cu
CA a avansului, iar trecerea
de finisare cu SCO a MDFMC,
deci avans constant.

Pentru fiecare caz ana-
lizat pentru MDFMC cu CA,
așa cum s-a mai precizat, de
fapt în același timp de lu-
cru s-au prelucrat cu pînă

nuu) prin CA a avansului, nu cumva sînt aspecte deosebite ale evoluției uzurii. Nemavorbînd, de faptul că pînă în prezent nu sînt cunoscute la noi date despre uzura pe dinte nici pentru modul de lucru cu SCO. Tocmai de aceea, s-a considerat necesară identificarea și vizualizarea suprafeței de degajare A_g a dintelui, pentru cel mai complex caz tehnologic (Tip 2), analizat în acest subcapitol.

Pentru cele două moduri de lucru, cu SCO și CA s-au efectuat încercările conform programului precizat în tabelul 5.1., după care s-a procedat la fotografierea dinților FMC (care au lucrat), pe microscopul sterea din catedra T.C.M., pentru cei cinci dinți care participă prin reglaj la prelucrarea dinților RDC.

În fig.5.48., (cu literele a,b,c,d,e, - modul de lucru cu CA, a', b', c', d', e' - modul de lucru cu SCO, pentru MDFMC), se prezintă pentru cinci dinți ai FMC (1,3,5,7,9, în sensul rotirii FMC),

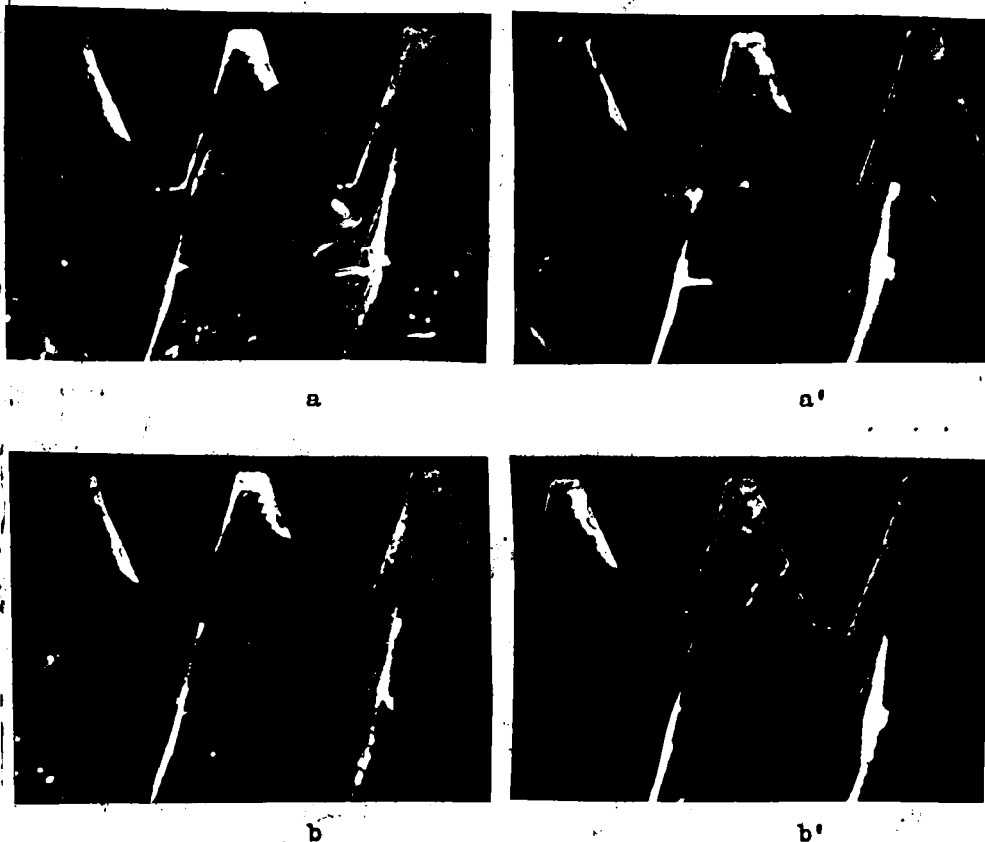


Fig.5.48. Evoluția uzurii pe dinții FMC

INSTITUTUL
DE
RESEARCH
CENTRAL

evoluția uzurii pe dintele central și pentru cei doi dinți care participă la prelucrarea flancurilor dinților RDC.

Din analiza macro, a fotografiilor expuse se observă că în general înălcarea și deci uzura KB, pe muchia tăișului dir-spre fața A_g, este uniformă ca extensie pe flancul drept și un amănunt tehnologic semnificativ, mai bine distribuită pe lungimea flancului dintelui FMC, pentru modul de lucru cu CA.

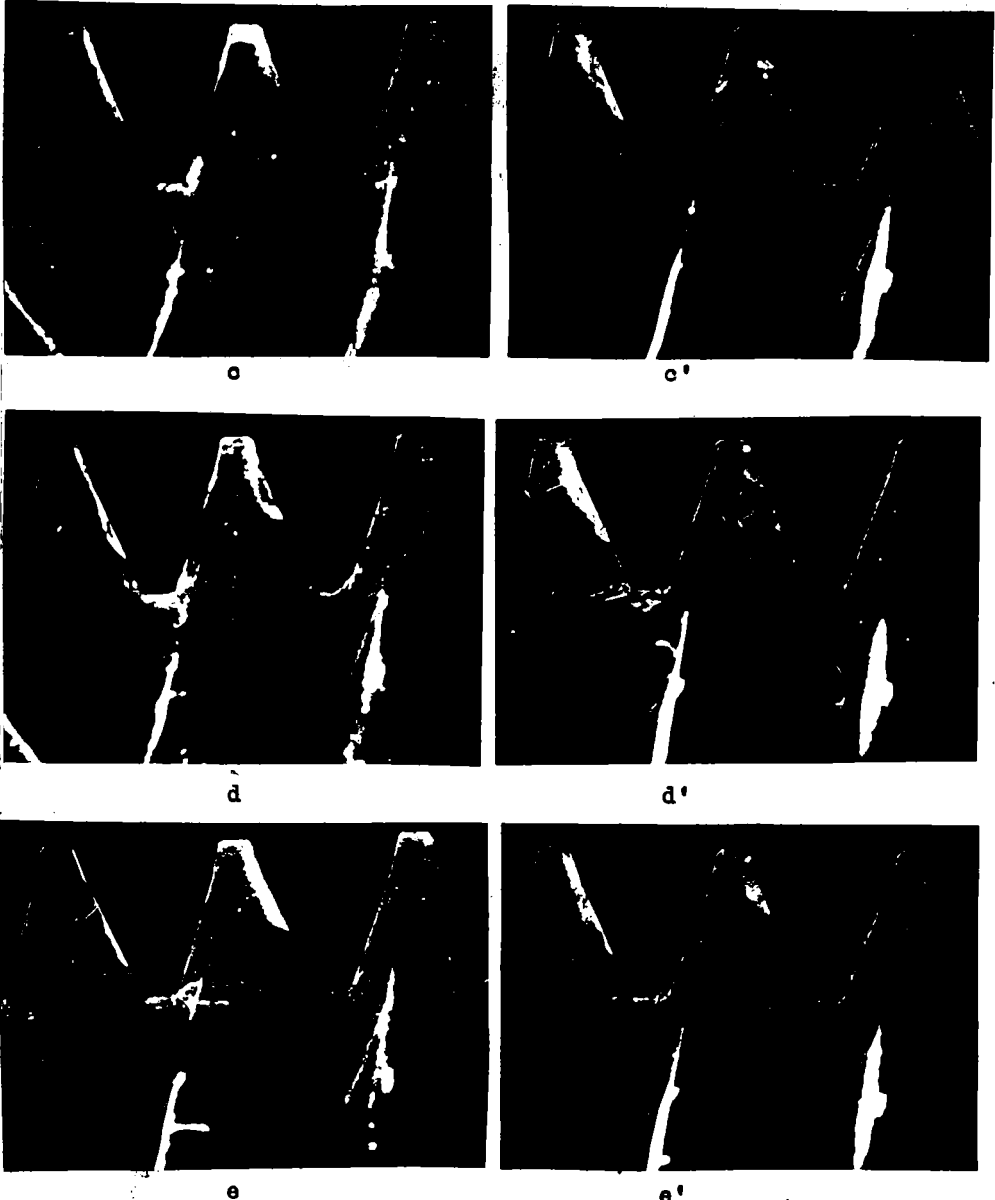


Fig.5.48. Evoluția uzurii pe dinții FMC

Pentru modul de lucru cu SCO se observă o concentrare a uzurii la vârful dintelui, pe fața A_{α} și fireco pentru etapa de trecere de la o dimensiune la alta a aşchii o dezvoltare a uzurii și pe lungimea flancului dintelui.

Dimensiunile mai mari pentru KB în condițiile CA a avansului, și distribuția lor mai bună pe lungimea tăișului dintelui justifică și valorile mai mici pentru KT, în anumite cazuri prezentate în figurile mai înainte comentate, pentru că în condițiile MDFMG cu SCO, concentrarea uzurii spre vârful dintelui FMC conduce pentru aceleași $v_{a\beta}$ și dimensiuni a dintelui RDC la uzuri KT mai mari.

Se mai poate remarca distribuția uzurii KB mai bună și pentru flancurile dinților FMC laterali, pentru care în unele cazuri valorile sînt mai mici decît pentru modul de lucru cu SCO (de exemplu b-b', c-c', d-d', e-e'). Evident pentru oricare din cazuri uzura pe muchia dintelui FMC de pe A, este mai accentuată și legată de modul de instalare al FMC sub unghiul ω^0 , într-un sens sau alul față de sem-fabricat.

Din analiza acestor fotografii se poate în mod evident argumenta științific comportarea mai bună a FMC pentru procedeul CA, comparativ cu SCO a MDFMG, în condițiile în care se consideră și $v_{a\beta}$ variabilă, pentru care timp al danturării (comun celor două moduri de lucru, creșterea capacității de producție (n_{pp}), este cu peste 60% pentru cazurile tehnologice analizate. Aceste rezultate vor fi și mai evidente (pentru CA), în condițiile în care ele vor fi corelate în subcapitolul 5.3., cu analiza preciziei la danturarea RDC.

5.2.7. Studiul influenței variației numărului de dinți z_p al piesei prelucrate asupra uzurii FMC, pentru diferite

$v_{a\beta}$

Pentru fiecare determinare a uzurii măsurate KT și h_p , s-au efectuat măsurări pe microscopul de atelier (din laboratorul de control al I.M. Cugir), pentru lățimea craterului uzurii KB_v (la vârful dintelui) și pe spatele dintelui pentru B_g .

Din prelucrarea acestor rezultate, prezentate în figura 5.49., se observă că pentru uzura KB_v , modul de lucru cu SCO și CA, forma de variație este asemănătoare, cu valori puțin mai mari pentru CA. Valorile puțin mai mari pentru CA sînt evidente dacă ne gîndim că numărul de dinți al RDC prelucrate este oricum mult mai mare, în acest caz. Pentru uzura măsurată, B_g , pe fața A_{α} , forma de variație a curbelor este crescătoare pentru modul de lucru cu SCO, odată

cu creșterea numărului de dinți și cu ramură descendentă pentru CA. Forma de variație a curbei B_s pentru cazul CA, este avanta-

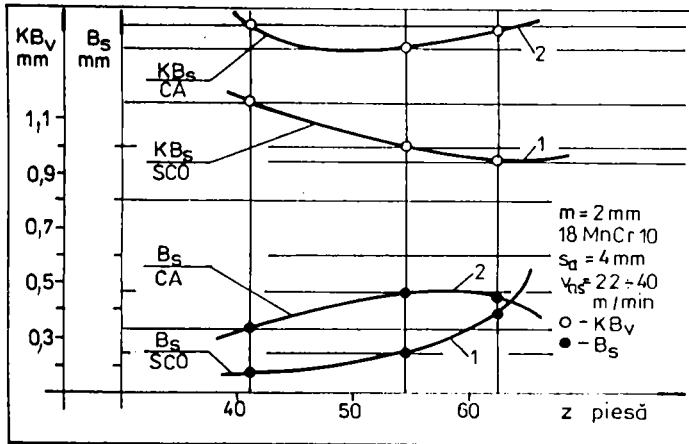


Fig.5.49. Variația uzurii KB_v, B_s funcție de z_p

jează din punctul de vedere al durabilității sculei pentru danturarea RDC, dacă se analizează această curbă mai ales legat de îngustarea intervalului de variație. Acest interval nu reclamă reglaje de compensare a uzurii FMC pentru

menținerea preciziei de execuție a RDC, atunci când se trece de la o piesă cu un anumit z_p la o alta cu alt z_p . De fapt, în acest caz ca și pentru celelalte cazuri analizate, comportarea FMC din punctul de vedere al uzurii radiale sau de suprafață (pe A_α) este mai bună, fapt ce avantajează creșterea calității prelucrării RDC și a durabilității T, a FMC, pentru un număr mai mare de RDC prelucrate.

Tendențele de scădere a valorilor uzurii pentru un număr de dinți mai mare se explică și prin reducerea frecvenței de contact a acelorși muchii și flancuri a FMC în unitatea de timp cu dinții roților de prelucrat. Cu creșterea numărului de dinți, se mărește timpul de destindere, de descărcare a dintelui FMC de tensiunile și gradientii care favorizează uzura acestora.

Uzura KB_v , așa cum se vede din figura 5.49., este mare pentru cazul CA, se consideră însă că acest aspect avantajează danturarea cu CA, tocmai plecând de la considerentul că rezultă o distribuție mai bună a acestei uzurii pe suprafața A_β , deci o încărcare mai bună a dintelui FMC în așchiere.

În concluzie rezultatele privind variația uzurii FMC funcție de z_p , sînt dacă nu mai bune cel puțin egale, cu cele pentru cazul SCO, mai ales dacă se consideră faptul că în același timp al prelucrării a crescut numărul de RDC prelucrate pentru CA.

5.3. Concluzii

În scopul evidențierii mai bune a dinamicii uzurii FMC, pentru oricare din cazurile analizate de la paragraful 5.2.3., s-au făcut reprezentări pentru "uzura măsurată" (față de zero pentru valoarea precedentă a parametrului variabil), deci nu pentru uzura cumulată.

1. Pentru încercările efectuate, pentru valori diferite ale avansului de referință, s-au confirmat rezultatele cunoscute din literatura de specialitate, referitoare la faptul că valorile mari ale avansului favorizează durabilitatea FMC.

2. Pentru cazul variației vitezei de așchiere, rezultatele obținute pentru uzura KT și h_r , constituie un argument în sprijinul aplicării SGA și pentru CFF, deoarece acestea sînt încă la valori foarte mici pentru $v_{aș} > 40$ m/min.

3. În condițiile aplicării CT Tip 1 în SAV, $s_{ref} = 2,5$ mm/rot, pentru modul de lucru cu CA, uzura este mai mică, pentru oricare caz analizat se impune drept limită a uzurii, uzura h_r , ceea ce convine condițiilor tehnologice de prelucrare, legate de reglajul FMC.

4. Pentru același CT, dar pentru $s_{ref} = 4$ mm/rot, valorile uzurii KT pentru modul de lucru cu SGO se mențin în același domeniu, în timp ce pentru modul de lucru cu CA, ambele uzuri (KT , h_r), au creșteri mai mici și cu aceeași dinamică în timp. Aceste aspecte pentru acest caz al uzurii, de asemenea constituie argumente în direcția confirmării comportării mai bune a FMC din punctul de vedere al durabilității, în condițiile creșterii avansului de referință.

5. Referitor la alura curbelor de variație pentru v_h chiar dacă pentru acest caz ($s_{ref} = 4$ mm/rot, fig. 5.26.), are tendințe de creștere mai mari, totuși pentru aceiași $v_{aș}$, valoarea absolută a lui v_h este inferioară cazului din figura 5.22. ($s_{ref} = 2,5$ mm/rot).

6. Pentru CT în CAV, Tip 1, rezultatele obținute confirmă părerea generală, referitoare la durabilitatea mai bună pentru scule în general, deci și pentru FMC îndeosebi în cazul uzurii h_r care se impune drept limită a uzurii în condițiile modului de lucru cu CA.

7. În condițiile analizării variației v_h , rezultatele sînt evidente mai bune pentru CT în CAV, așa cum se vede din figura 5.30. Minimul curbei 2 (CA), este mult mutat spre $v_{aș} > 30$ m/min, cu valori inferioare față de CT în SAV, chiar pentru $v_{aș} > 40$ m/min.

8. CT în SAV cu Pra, pentru același s_{ref} , arată o comportare mai bună a FMC pentru cazul uzurii KT, cu valori superioare pentru h_r față de aceleași valori ale parametrilor variabili pentru CT în SAV cu Pax. Rezultatele mult schimbate față de CT cu Pax, sînt datorate și modului diferit de formare a așchiilor, în condițiile în care se ajunge la sarcina nominală cu un alt mod de desfășurare a așchierii.

9. În cazul CT, în CAV cu Pra, încă odată sînt evidente avantajele danturării în CAV și pentru FMC, rezultate neprezentate încă în literatura de specialitate. Așa cum se vede, din analiza graficelor de variație, dinamica evoluției uzurii este evident mai bună (fig. 5.35.) pentru modul de lucru cu CA, pentru oricare parametru al încercărilor. Pentru v_h , chiar dacă valorile rezultate sînt superioare modului de lucru cu SCO, totuși pentru $v_{ag} > 35$ m/min, se constată o variație aproape liniară a acesteia, ceea ce avantajează freza melc din punctul de vedere al durabilității.

10. Pentru CT în SAV și în CAV, Tip 1 în condițiile aplicării vitezei de așchiere variabile continuu, pentru anumite intervale se constată că rezultatele confirmă creșterea valorilor vitezei de așchiere pentru modul de lucru cu CA, îndeosebi pentru CT în CAV, care de asemenea prezintă cele mai mici valori pentru variația uzurii h_r .

11. Rezultate mai bune, se obțin în condițiile aplicării v_{ag} variabile continuu pentru CT în CAV cu Pra, de asemenea și pentru v_h se regăsește forma de variație pentru aceasta în condițiile $v_{ag} > 35$ m/min, (cînd este aproape liniară) ceea ce confirmă justetea cercetărilor, rezultatele nefiind deci întâmplătoare pentru un anumit CT în condițiile aceluiași mod de lucru adică cu CA.

12. În condițiile danturării RDC cu dinți înclinați, rezultatele obținute pentru modul de lucru cu CA sînt comparabile cu cele pentru RDC cu dinți drepți, în condițiile CT în SAV cu Pax, de asemenea pentru variația v_h (fig. 5.45.), alura curbelor este aproape identică cu cea din figura 5.26. (CT în SAV cu Pax), cu valori ușor superioare pentru $v_{ag} > 40$ m/min, în condițiile CA încă foarte bune (rezultate), pentru v_{ag} de circa 35 m/min.

13. Pentru cazul danturării cu CT în SAV cu Pax, Tip 2, nu sînt cunoscute pînă în prezent în literatura de specialitate

nici un fel de rezultate mai ales în condițiile CA. Analiza dinamicii uzurii măsurate pentru modul de lucru cu CA, arată că pentru $v_{a\dot{q}}$ de circa 40 m/min, aceasta prezintă pentru oricare din valorile KT sau h_r luate drept limită, rezultate cel puțin egale cu cele în condițiile SCO.

14. Analiza graficului v_h , pentru acest caz, arată o variație asemănătoare pentru cele două moduri de lucru, cu valori ușor superioare pentru CA, dar și în acest caz, ca de altfel pentru toate, valorile parametrilor tehnologici instalați au fost superioare, cazurilor tehnologice obișnuite și mai ales în condițiile prelucrării RDC cu caracteristici mecanice superioare.

15. Din analiza tuturor cazurilor prezentate (pe parcursul încercărilor), se poate aprecia că CT în CAV cu Pax, prezintă condițiile formării așchiilor și desfășurării regimului de așchiere tranzitoriu, cu cea mai bună dinamică a uzurii MFC, deci cu condițiile cele mai bune pentru o durabilitate T optimă în condițiile modului de lucru cu CA.

5.4. Precizia roților dințate cilindrice, danturate, în condițiile conducerii MDFMC cu CA a avansului

5.4.1. Considerații generale

Luând în considerare precizările făcute în /1/, /81/, /82/, /84/, /85/, /86/, /4/, referitor la influența diferiților factori tehnologici sau constructivi funcționali ai MD, asupra preciziei prelucrării RDC se pot face câteva aprecieri concrete pentru condițiile încercărilor efectuate în cadrul lucrărilor pentru prezenta toză.

În marea lor majoritate lucrările publicate și cunoscute pînă acum evidențiază și demonstrează rolul determinant al diferiților factori asupra preciziei prelucrărilor pe MDFMC, cum ar fi: rigiditatea la torsiune a lanțului de rostogolire, viteza de așchiere, numărul de dinți a RD, deformațiile diferitelor subsisteme ale MD - portsculă sau portpiesă, și așa mai departe.

În condițiile MDFMC cu CA, putem vorbi despre regimuri de așchiere instalate prin CA mult superioare celor în condițiile cu SCO. Totodată, concepția și construcția acestui sistem are în vedere funcționarea în regim de autoprotecție, pentru creșterea accidentale ale componentelor așchierii cum ar fi: $P_{a\dot{q}}$, $P_{a\dot{q}}$, M_t , care în mod sigur ar avea implicații asupra preciziei piesei prelucrate. În aceste condiții, în care datele desfășurării așchierii în regim adaptiv, sînt diferite (în sens favorabil), din punctul de vedere tehnologic, de

cele de la sistemele convenționale se pot interpreta rezultatele prelucrării RDC, din punctul de vedere al preciziei acestora, numai pentru starea de uzură a tășurilor active ale FMC, în condițiile în care încercările s-au desfășurat pe o MDFMC unică și cu scule identice pentru cazurile comparate. În IMCugir, s-au făcut verificări pentru abaterea profilului dintelui f_{fr} , și abaterea direcției dintelui $F_{\beta r}$, conform /79/. Aceste verificări sînt specifice producției industriale dar pentru relevarea rezultatelor cercetării s-au efectuat pentru fiecare caz analizat (în paragraful 5.2.), și înregistrările pentru cele două abateri, cu mod de lucru precizat în paragraful 5.1.4.c și d, în vederea identificării și analizării influențelor CA a MDFMC asupra preciziei RDC. Se poate preciza că de fapt aceste înregistrări constituie o bază de reglare a MDFMC în vederea asigurării fabricației RDC pentru cele două tipuri de prelucrare, (Tip 1, Tip 2), dar totodată constituie un "martor" eficient pentru analiza și interpretarea comparativă a modului de lucru al MDFMC și FMC pentru cele două cazuri, SCO sau CA. În concret, s-au efectuat măsurile de precizie pentru aceleași CT evidențiate și la determinarea variației uzurilor.

5.4.2. Influența variației vitezei de așchiere, pentru

$$s_a = \text{cts, CA} \text{ și CT în SAV Tip 1, pentru } s_{\text{ref}} = 2,5 \text{ mm/rot}$$

Pentru acest caz al danturării, referitor la regimul de lucru instalat s-au făcut precizări în paragraful 5.2.2., și așa cum a rezultat din analiza graficelor din figura 5.15. prelucrarea cu s_a mare este avantajoasă din punctul de vedere al durabilității FMC. De asemenea, pentru oricare s_{ref} punctele de maxim ale uzurii KT sau h_r corespund aceleași durabilități (figura 5.17.). Rezultatele mai deosebite (paragraful 5.2.2.c), evidențiază în figura 5.18. creșterea stabilității tășurilor active ale FMC în intervalul vitezelor 40 - 50 m/min, în condițiile aplicării CA. Așa cum era și normal comparînd rezultatele referitoare la uzura FMC din figura 5.18., cu cele pentru precizie, figura 5.50., se observă corespondența între domeniul de stabilizare al uzurii în intervalul $v_{ag} = 40 - 50 \text{ m/min}$, confirmat de simetria valorilor obținute pentru f_{fr} și $F_{\beta r}$.

Referitor la rezultatele bune obținute pentru precizia piesei în condițiile conducerii cu CA, acestea nu sînt de neglijat, deoarece cei mai mulți autori /4/, /7/, /81/, /82/, /86/, /90/,

sustin că odată cu creșterea lui v_{ag} , a forțelor de așchiere și momentelor de torsiune se obțin imprecizii de la profilul dinților RDC, dar evident fără CA a MU. În condițiile aplicării CA pentru s_a

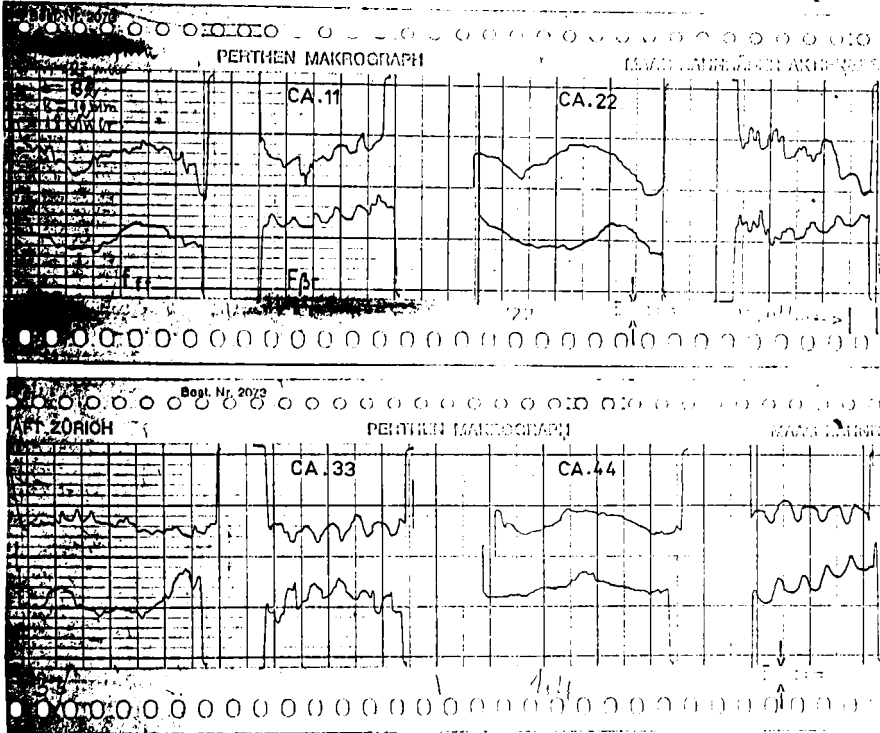


Fig.5.5o. Abaterea f_{fr} și F/β_r pentru danturarea cu CA, CT în SAV Tip 1, $s_{ref} 2,5$ mm/rot

și v_{ag} variabil, tocmai datorită unei încălziri mai egalizate a STE și respectiv a unei mai bune geometrizări a așchiiilor detașate a menținerii calității tăgurilor prin SCA, s-au putut obține RDC prelucrate cu v_{ag} mari pentru care încă precizia se încadrează în limitele, cerute de STAS. Rezultatele mai bune pentru v_{ag} mari sînt evidente pentru figura 5.5o./44, îndeosebi pentru profilul evolventic, în care caz abaterea f_{fr} sînt minime, de asemenea și pentru direcția dintelui, cînd de asemenea F/β_r are valori minime.

5.4.3. Influența variației v_{ag} asupra preciziei piesei danturate

a. Cicluri cu SCO și CA, în SAV cu Pax, Tip 1 și $s_{ref}=2,5$ mm/rot.

În condițiile analizării rezultatelor privind influența v_{a3} asupra uzurii (fig.5.19.), în scopul corelării mai bine a acestora

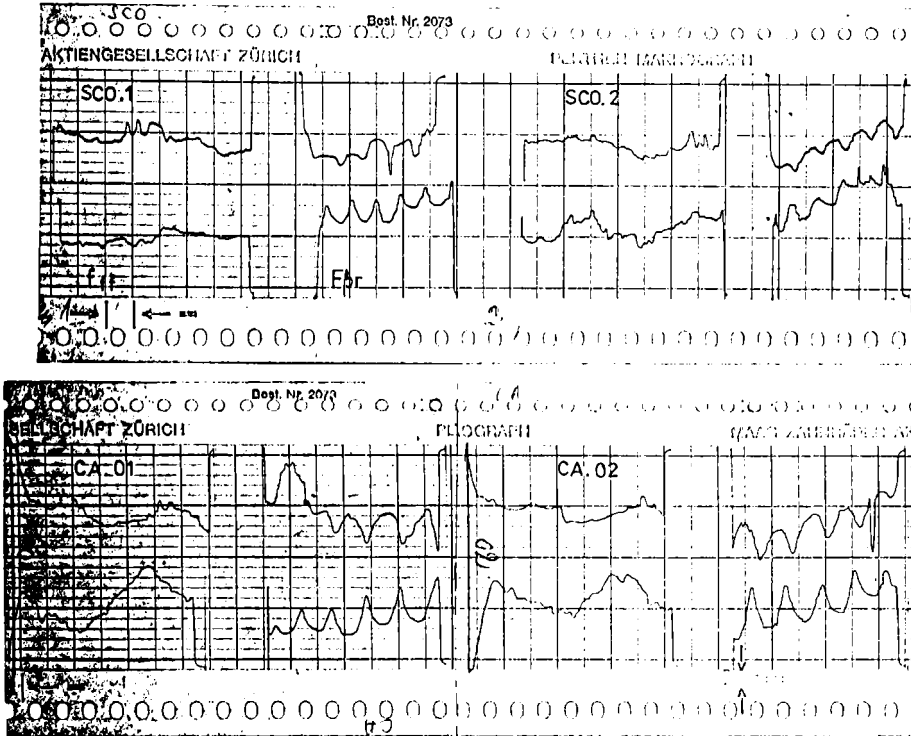


Fig.5.51. Abaterile f_{fr} și F_{β_r} , SCO și CA, CT în SAV Tip 1, $s_{ref} = 2,5 \text{ mm/rot}$

cu interpretarea rezultatelor legate de influența v_{a3} asupra preciziei la prelucrare, respectiv se va analiza precizia mai întâi pentru primul interval al vitezilor de așchiere de la 10-25 m/min, fig. 5.51., și apoi pentru intervalul $v_{a3} = 25 - 50 \text{ m/min}$, fig.5.52.

Din figura 5.51., analizându-se modul de lucru SCO comparativ cu CA, se observă că f_{fr} și F_{β_r} sînt mai mici decît referințele (STAS), dar cu valori mai mari pentru combinația s_a și v_{a3} cu CA, pentru ca odată cu creșterea lui v_{a3} să avem valori pentru cele două abateri apropiate celor două moduri de lucru ale MDFMC și cu aspecte de simetrie corespunzătoare celor două flancuri ale dintelui.

În figura 5.52., sînt înregistrate curbe ale preciziei prelucrării RDC pentru intervalul v_{a3} mai mari, de pînă la 50 m/min,

unde așa cum se vede, se obțin rezultate mult mai bune pentru abaterea de la direcția dintelui $F_{\beta r}$, în condițiile aplicării CA, când

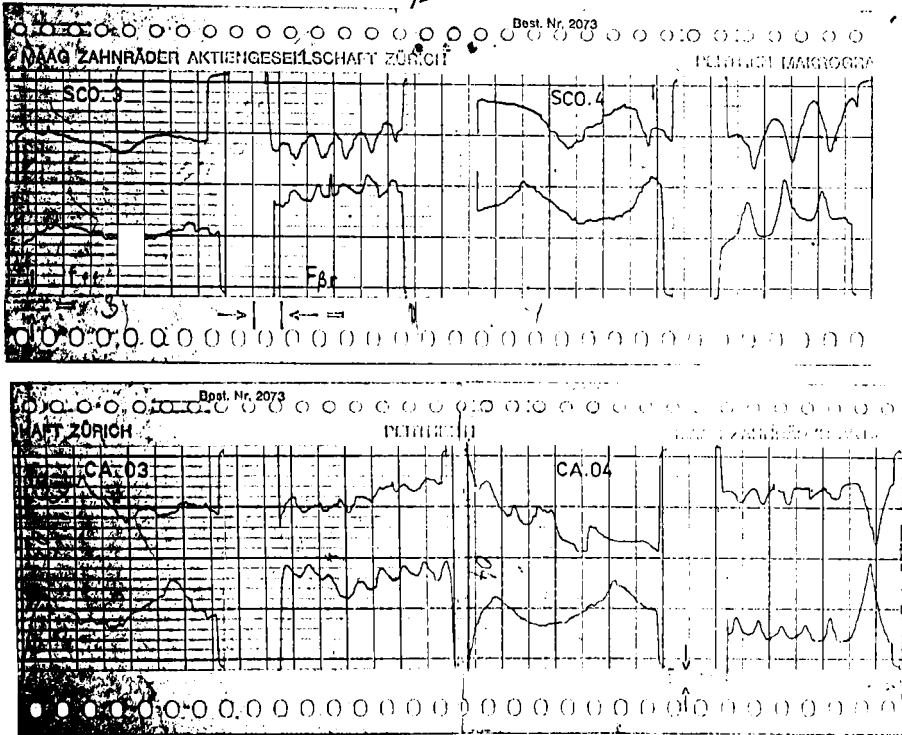


Fig.5.52. Abaterea f_{fr} și $F_{\beta r}$, SCO și CA, CT în SAV, Tip 1, $s_{ref}=2,5$ mm/rot efectiv pentru v_{ag} de pînă la 50 m/min a rezultat $F_{\beta r} \approx 0$, (vîrfurile sunt accidente ale aparatului). Este semnificativ faptul că și pentru f_{fr} se observă o distribuție uniformă a acestuia în jurul valorii medii, de fapt între modurile de lucru cu SCO și CA, pentru ambele flancouri ale dintelui a rezultat că abaterea f_{fr} pentru CA este de aproape două ori mai mică decît pentru SCO, fără a mai considera abaterea de la direcția dintelui care este superioară cazului SCO.

Rezultatele mai bune privind cele două abateri pentru modul de lucru cu CA se explică și prin calitatea mai bună a muchiilor tăietoare, deci a profilului dinților FMC, comparativ cu modul de lucru cu SCO pentru $v_{ag} > 40$ m/min (fig.5.19.), cînd uzura dinților FMC este mai mică pentru modul de lucru cu CA.

b. Cicluri cu SCO și CA, în SAV cu Pax, Tip 1, $s_{ref}=4$ mm/rot

In condițiile creșterii avansului de lucru, mai ales pentru modul de lucru cu CA, cresc forțele, puterea de aşchiere și mo-

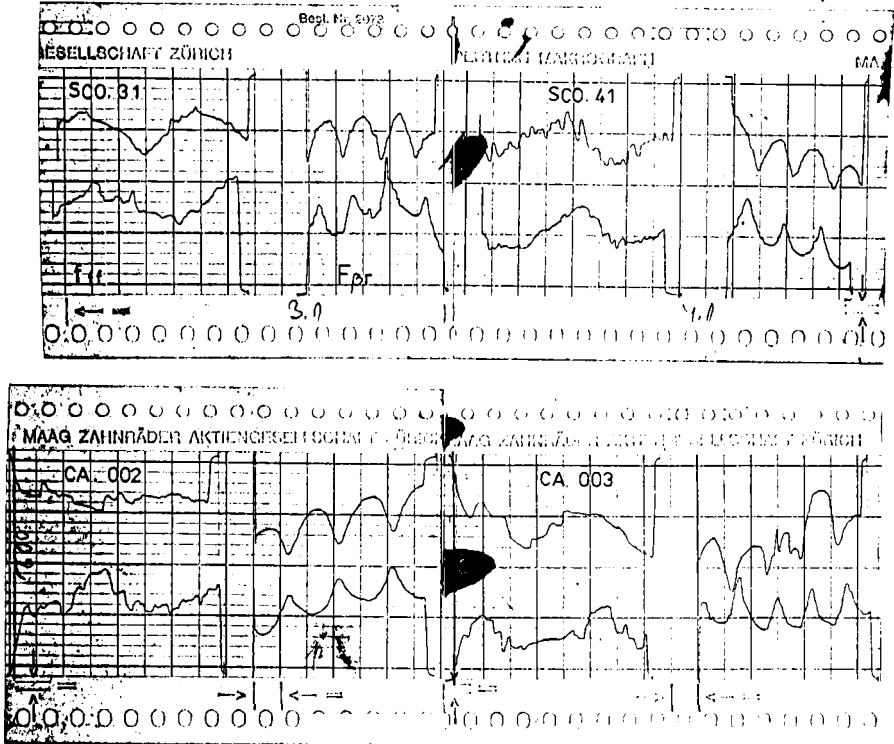


Fig. 5.53. Abaterile f_{fr} și $F_{\beta r}$, SCO și CA, CT în SAV, $a_{ref}=4$ mm/rot
 mentul de torsiune pentru întreg sistemul de lucru. Și în acest caz
 se poate afirma că valorile abaterilor pentru f_{fr} și $F_{\beta r}$, se află în
 intervalul precizat de STAS, în mod deosebit pentru valorile negati-
 ve, care ar conduce în altă ordine de idei la rebuturi în condițiile
 dispariției adaosului de prelucrare pe flancul dintelui. Dacă se co-
 relează aceste rezultate cu cele din figura 5.23., privind comporta-
 rea FMC la uzură pentru cele două moduri de lucru ale MDFMC, se poa-
 te observa că corespunzător maximelor înregistrate pentru K_T și h_r
 (deci la v_{ag} de circa 25 m/min), se obțin pentru f_{fr} și $F_{\beta r}$, valori
 mai mari, dar pentru modul de lucru cu CA așa cum se vede din fig.
 5.53., se obțin rezultate mai bune pentru abaterile de la direcția
 dintelui și chiar pentru f_{fr} , ca valori absolute.

În condițiile unor valori mai mari pentru $v_{a\dot{g}}$, comparînd cazul SCO/3.1. cu CA/002, se obțin rezultate mai bune pentru f_r , în condițiile modului de lucru cu CA. În mod evident, dacă se analizează cazul GA/003 (pentru care $v_{a\dot{g}} > 40$ m/min), rezultatul este mai favorabil modului de lucru cu CA îndeosebi pentru F/β_r , dacă ne referim la faptul că SCO/4.1., corespunde unei $v_{a\dot{g}}$ de circa 30 m/min, rezultatele sînt evident mai bune și pentru abaterea f_r care prezintă un cîmp de dispersie mai bun pentru figura 5.53., CA /003 față de SCO/4.1.

Aceste rezultate sînt logice și se datoresc unei încercări mai uniforme a STE prin SCA, care controlează în permanență regimul de lucru și respectiv forțele de așchiere. Se precizează că în toate cazurile analizate și ce se vor mai analiza așa cum s-a văzut de la paragraful 5.2., numărul de piese prelucrate în același timp, cu aceeași FMC este superior modului de lucru cu SCO (în condițiile CA), ceea ce nu este de neglijat. De asemenea, fiind vorba de o cercetare a comportării SCA pentru durabilitatea și precizia de lucru s-au instalat pe MDFMC valori ridicate pentru regimul de lucru, tocmai plecînd de la necesitatea verificării cît mai apropiate de cerințele creșterii continue a capacității de producție a MDFMC și pe această cale.

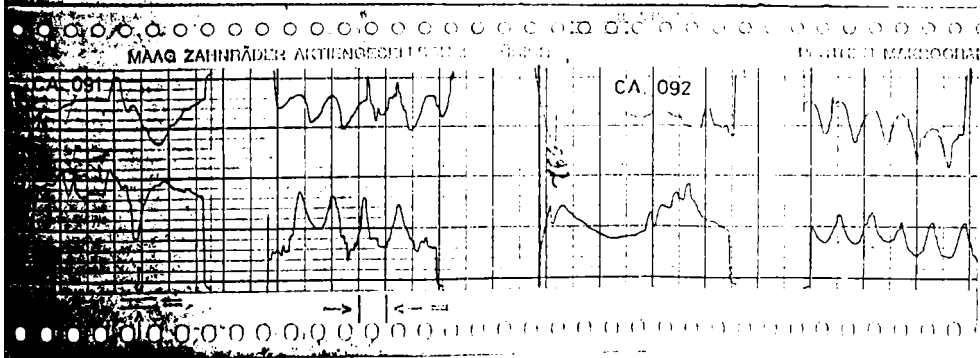
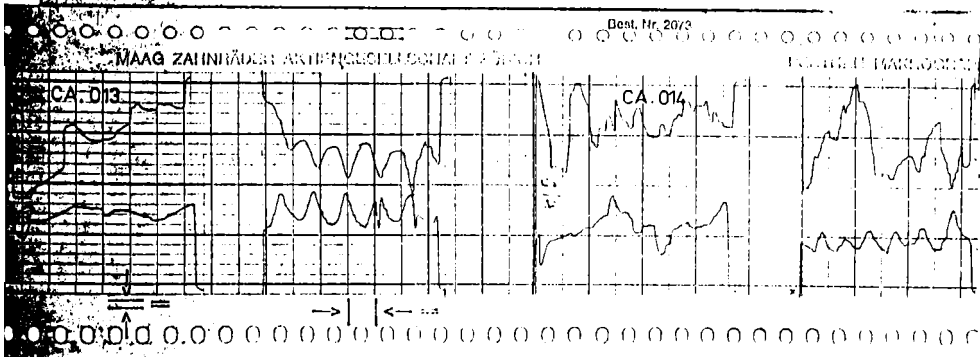
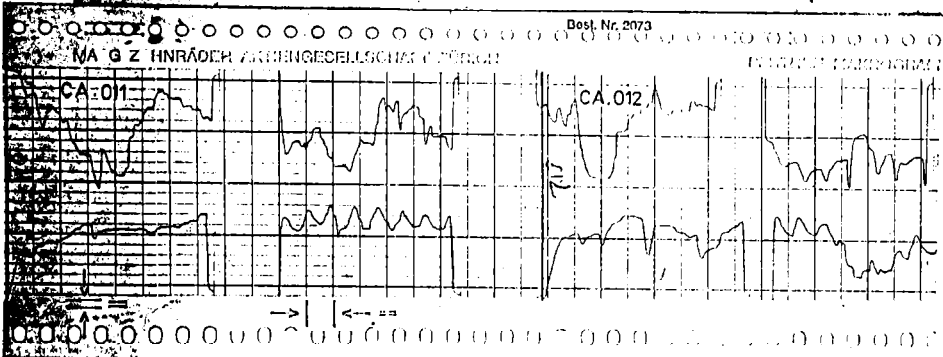
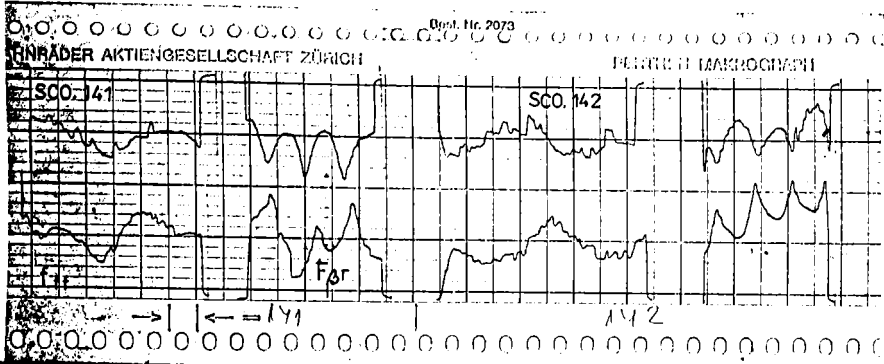
c. Cicluri cu SCO și CA, în CAV cu Pax, Tip 1, $s_{ref} = 2,5$ mm/rot și $s_{ref} = 4$ mm/rot

Așa cum s-a subliniat în paragraful 5.2., se impunea ținînd cont de experiența și afirmațiile unor firme recunoscute în fabricația de MDFMC, referitor la CT în CAV verificarea în acest CT și a preciziei piesei prelucrate.

Rezultatele referitoare la durabilitatea FMC (fig.5.27.), evidențiază o creștere a acesteia îndeosebi în domeniul $v_{a\dot{g}}$ mari. În cele ce urmează este necesar a corela aceste rezultate cu datele referitoare la precizia RDC danturate în acest CT.

În primul rînd se poate face o observație generală pentru ambele moduri de lucru, legat de faptul că flancul drept al dintelui RDC, prezintă rezultate mai bune pentru cele două abateri, comparativ cu flancul stîng, fapt influențat de modul de instalare al FMC față de semifabricat.

Dacă se fac aprecieri legate de cele două moduri de lucru pentru MDFMC (SCO și CA pentru $s_{ref} = 2,5$ mm/rot), se poate spune că în domeniul $v_{a\dot{g}} = 20-30$ m/min aspectele legate de profilul evolventic și direcția dintelui sînt sensibil mai bune ca rezultate îndeosebi pentru direcția dintelui. În același timp dacă ne referim la creșterea avan-



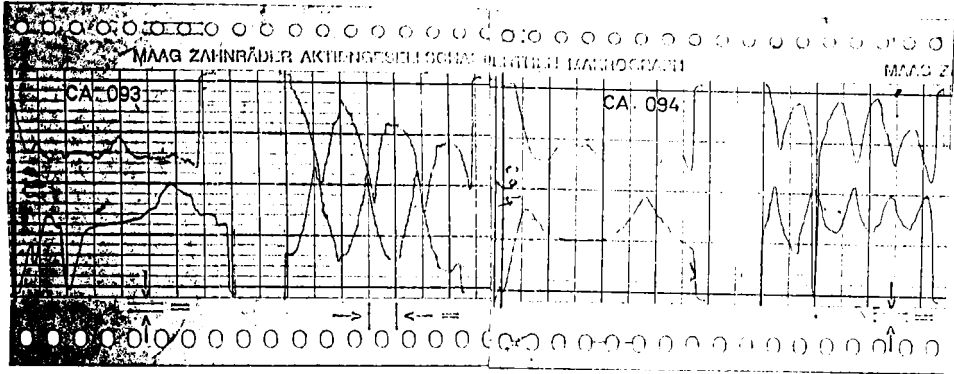


Fig. 5.54. Abaterea f_{fr} și $F_{\beta r}$ SCO și CA, CT în SAV, $s_{ref} = 2,5; 4$ mm/rot
 sului spre valori de pînă la 4 mm/rot, se obțin de asemenea rezultate
 mai bune pentru cazul $v_{a3} > 25$ m/min, chiar pentru flancul stîng al
 RDC. Dacă se fac referiri față de CT în SAV, indiferent de valoarea in-
 stalată a avansului, dacă comparăm rezultatele din figura 5.52./2.1. și
 3.1., figura 5.53./ool și oo2 cu figura 5.54./o02, ușor se pot consta-
 ta rezultate mai bune pentru acest CT în SAV și cu $s_{ref} = 4$ mm/rot.

Pe lîngă creșterea capacității de așchiere a FMC pentru acest
 CT, se poate evidenția creșterea preciziei prelucrării în condițiile
 în care $v_{a3} > 40$ m/min, unde în general abaterile de la profilul evol-
 ventic prezintă valori pozitive, iar pentru abaterea $F_{\beta r}$ aproape zero
 (virfurile sînt datorate avansului mare, dar nu au influență asupra
 prelucrărilor ulterioare pentru acest CT de Tip 1).

d. Cicluri cu SCO și CA, în SAV cu Pra, Tip 1, $s_{ref} = 4$ mm/rot

Acest caz al danturării cu CT în SAV cu Pra trebuie comparat
 cu 5.3.3.b, pentru a putea stabili elemente de referință între durabi-
 litatea FMC și precizia RDC prelucrate în ambele moduri de lucru.

Dacă se fac referiri pornind de la durabilitatea FMC, așa cum
 s-a arătat rezultatele mai bune sînt pentru CT în SAV cu Pax, pentru
 modul de lucru cu CA. Urmează să se stabilească care sînt rezultatele
 pentru f_{fr} și $F_{\beta r}$ în acest caz. Trebuie precizat că în acest caz înre-
 gistrările sînt făcute pentru scara 2:1 a aparatului și deci referiri-
 le se vor comenta mai ales în legătură cu forma acestor abateri.

În condițiile comparării celor două moduri de lucru cu acest
 CT cu Pra, pentru oricare interval al v_{a3} , rezultatele sînt sensibil
 mai bune la danturarea cu CA. Dacă ne referim la $v_{a3} > 40$ m/min, rezul-
 tatele pentru cele două abateri sînt concludente pentru modul de lucru

cu CA, figura 5.55.b/o84 față de 5.55.a/1.5. cu SCO. In condițiile schimbării modului de formare a geometriei așchiilor (fig.2.9.), acest CT' avantajează precizia de prelucrare din punctul de vedere al evolventei și direcției dintelui . Dacă se compară figura 5.55.b, /o84 cu figura 5.52./o4 pentru cazul cu CA sau chiar 5.52./4 SCO, tocmai luând în considerare valoarea cea mai mare pentru v_{a3} de circa 50 m/min se observă în mode evident că abaterile f_{fr} de la profilul evolventic teoretic sînt minime pentru CT în SAV cu Pra, Tip 1 tocmai datorită unui al mod de formare a așchiilor și de desfășurare a procesului tranzitoriu de prelucrare a golului dinților RDG. Aceste considerente, constituie argumente pentru toate cazurile analizate pînă acum în sprijinul dezvoltării și perfecționării CA în care să fie reglabilă și viteza. Pentru valori ale regimului de așchiere constante în condițiile fazelor tranzitorii la danturarea cu SCO, creșterea vitezei de așchiere se va manifesta după cum se știe

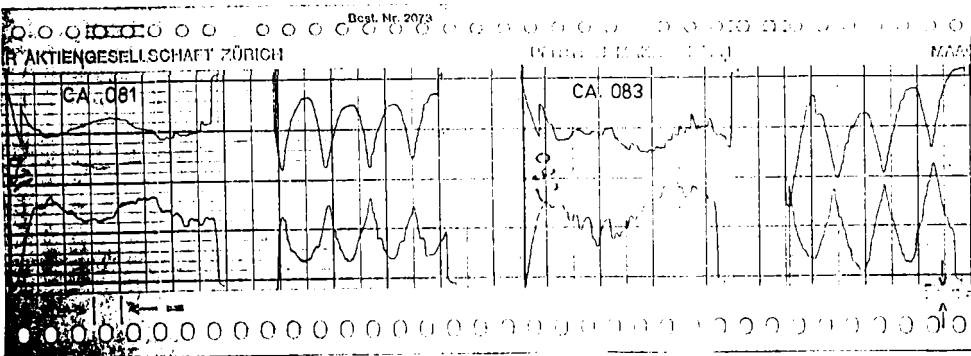
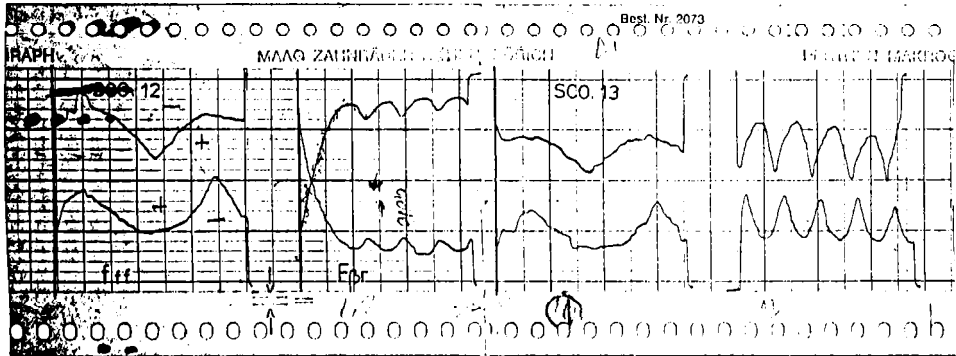


Fig. 5.55.a. Abaterile f_{fr} și $F_{\beta r}$ SCO și CA, CT în SAV, Pra, $s_{ref}=4$ mm/rot

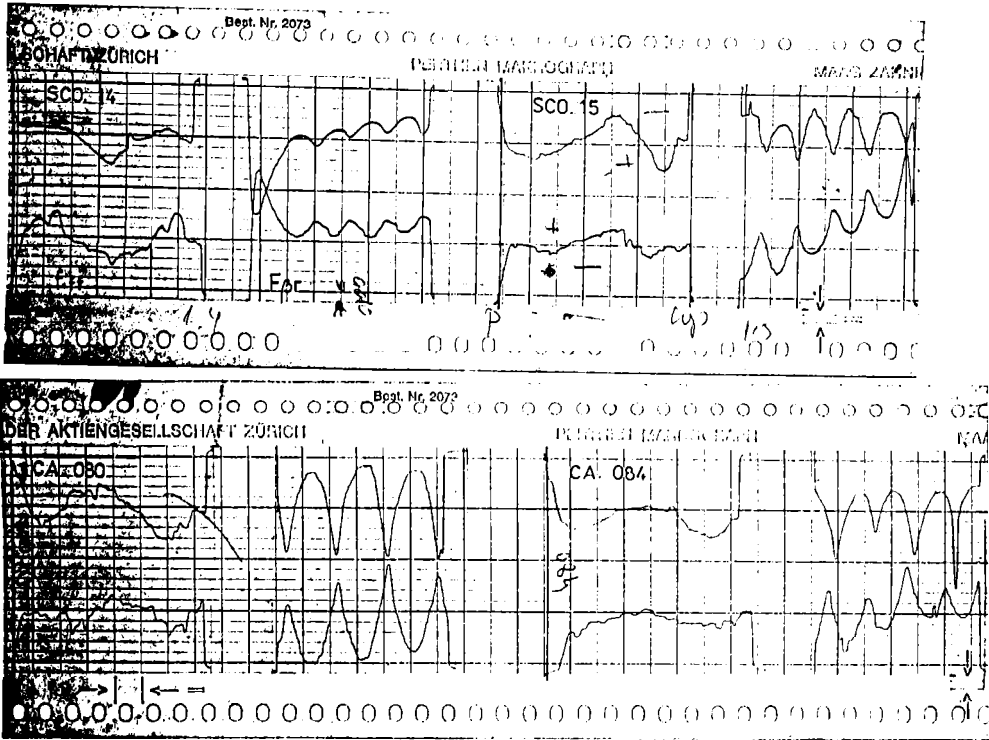


Fig.5.55.b. Abaterea f_{ir} și F_{br} , SCO și CA, CT în SAV, $Pra, s_{ref}=4$ mm/rot prin înrăutățirea calității prelucrărilor așa cum s-a văzut și din CT specifice cu SCO analizate pînă acum.

e. Cicluri cu SCO și CA, CT în CAV, Pra , Tip 1, $s_{ref}=4$ mm/rot

Analiza acestui CT din punctul de vedere al preciziei la prelucrare poate fi de asemenea corelată cu aspectele legate de durabilitatea FMC cînd așa cum se vede, de altfel, din figura 5.35., pentru modul de lucru cu CA, trebuie instalate $v_{ag} > 25$ m/min pentru acest CT, motiv pentru care trebuie stabilite și implicațiile creșterii v_{ag} față de precizia RDC prelucrate. Evident, se impune o comparație și față de CT cu Pra în SAV, tocmai în scopul stabilirii condițiilor celor mai tehnologice de aplicare a unui CT sau altul, în situația în care v_{ag} va avea valori variabile prin CA.

Dacă se va analiza primul interval al vitezelor, $v_{ag} > 30$ m/min, figura 5.56.a, se observă că pentru acest CT se confirmă îmbunătățirea calității muchiilor tăietoare ale FMC, prin rezultatele bune obținute

pentru precizia prelucrărilor, la creșterea lui $v_{aș}$ (figura 5.56.a/1.7. și /o.72.), și sensibil la mai bune rezultate pentru ambele abateri în acest CT față de CT în SAV (figura 5.55.a/1.2. și /o.82.).

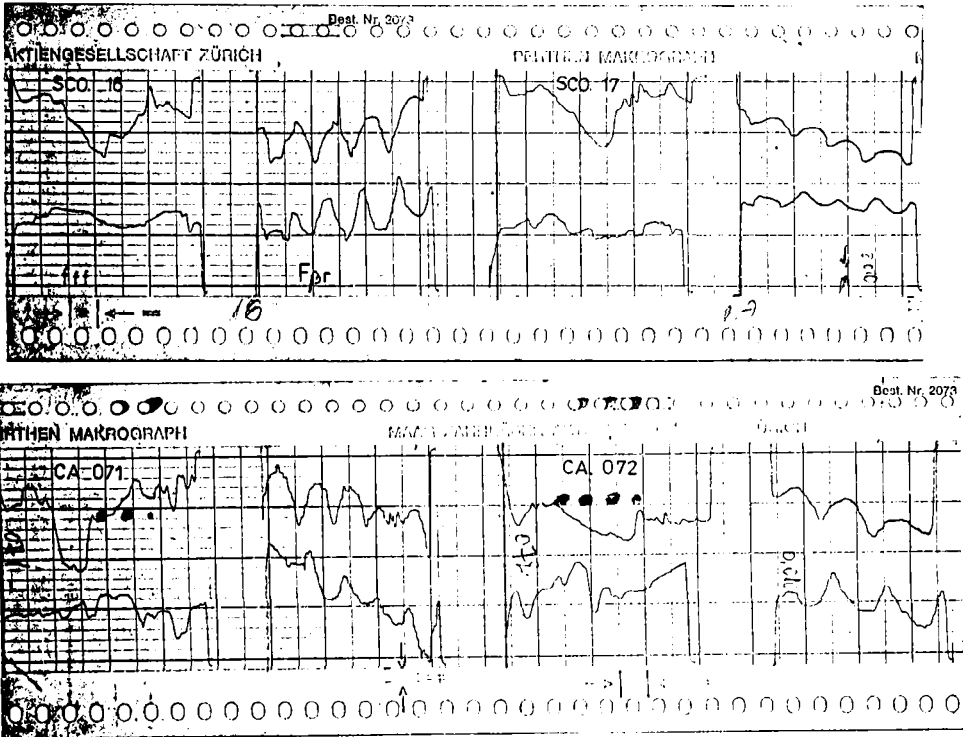


Fig.5.56.a.Abateri f_{fr} și F_{br} , SCO și CA, CT în CAV, Pra, $s_{ref}=4$ mm/rot

În condițiile analizării acestui CT față de CT cu Pax în CAV, pentru $s_{ref} = 4$ mm/rot, (figura 5.54./1.42. și/o.92 față de 5.56.a/1.7. și /o.72), pentru modul de lucru cu SCO sînt mai bune rezultatele pentru ambele abateri. De asemenea, pentru modul de lucru cu CA (figura 5.54./o.92), față de SCO (figura 5.56.a/o.72), rezultatele sînt mai bune în condițiile CT în CAV cu Pra, cînd dispersia abaterii f_{fr} (pozitive) pentru ambele flancuri este mai bună, de asemenea chiar și F_{br} este mai bun.

Dacă se analizează precizia prelucrării RDC în condițiile creșterii lui $v_{aș}$ spre valori pînă la 50 m/min, pentru acest CT în CAV (figura 5.56.b.) se constată în mod evident îmbunătățirea aceste-

ia, pentru modul de lucru cu CA, în timp ce pentru modul de lucru cu SCO abaterea f_{fr} se înrăutățește calitativ cu creșterea lui v_{ag} (figura 5.56.b/1.09.). Pentru acest CT comparativ cu CT în SAV cu Pra

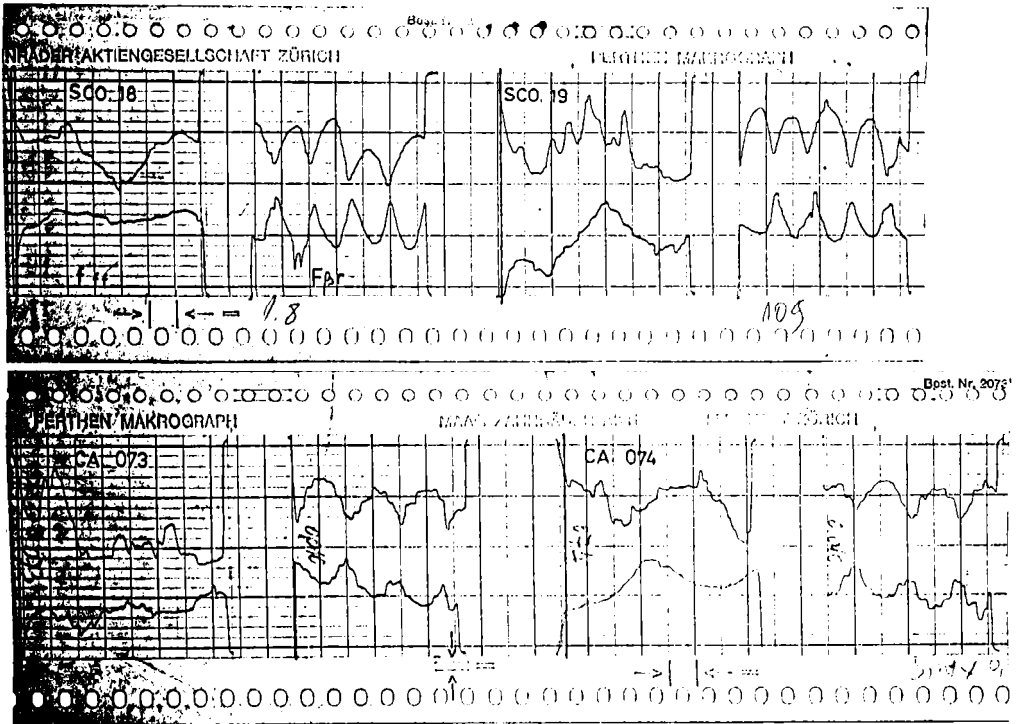


Fig.5.56.b.Abaterea f_{fr} și F_r , SCO și CA, CT în CAV, Pra, $s_{ref}=4$ mm/rbt

(figura 5.55.b/1.4. și /1.5, de asemenea figura 5.55.b/0.80 și/0.84, față de figura 5.56.b/1.8; 1.09.și /0.73; 0.74.) se observă că pentru v_{ag} mari în condițiile SCO, pe obțin rezultate mai bune pentru CT cu Pra în SAV. Totodată la danturarea cu CA, CT în CAV cu Pra (figura 5.56.b/0.74 față de 5.55.b/0.84), se obțin totuși rezultate bune pentru $F_{\beta r}$, totodată mai bune și pentru f_{fr} , dacă ne referim la precizia prelucrărilor ulterioare plecând de la ideea că f_{fr} este mai bine distribuit spre valori pozitive în acest CT în CAV.

Dacă se compară CT în CAV cu Pra (figura 5.56.b.)cu CT în CAV cu Pax (figura 5.54.), rezultatele sînt aproape egale, dar mai bune totuși la CT în CAV cu Pax pentru $F_{\beta r}$ și sensibil egale pentru f_{fr} . De fapt CT în CAV cu Pax este mai bun și pentru criteriul durabilității.

5.4.4. Studiul influenței variației continue a v_{ag} ,
asupra preciziei RDC prelucrate, în CT cu SCO

a. CT în SAV cu Pax, Tip 1 și $s_{ref} = 2,5$ mm/rot

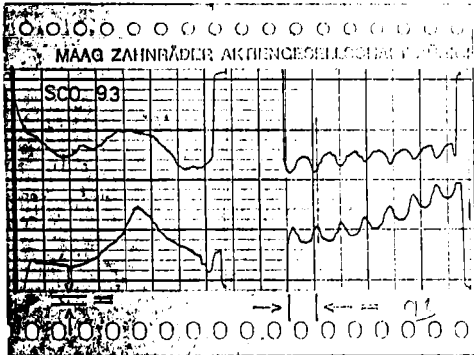
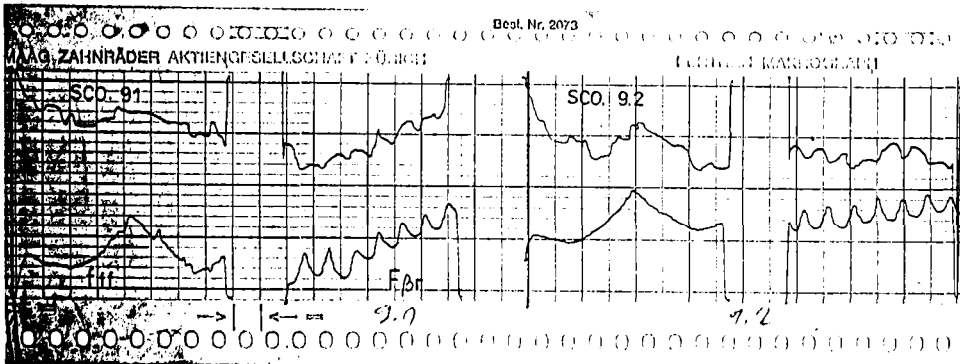


Fig.5.57. Abateri f_{fr} și $F_{\beta r}$, SCO, CT în SAV cu Pax, $s_{ref} = 2,5$ mm/rot

Condițiile și modul de lucru pentru acest caz, au fost precizate în paragraful 5.2.4. Din ploturi se observă din celelalte înregistrări a e preciziei prelucrării RDC (figura

5.57.), creșterea lui v_{ag} produce același efect pentru cele două abateri, cu rezultate mai bune pentru intervalul vitezelor $I_v = 50/30$ (figura 5.57./9.3.), îndeosebi pentru $F_{\beta r}$, corespunzător și modului de variație a uzurii FMC prezentat în figura 5.39.

b. CT în SAV și CAV, cu Pax, Tip 1 și $s_{ref} = 4$ mm/rot

În primul rând se impune o analiză a evoluției preciziei RDC comparativ pentru cele două CT, în SAV și CAV, pentru același s_{ref} (4 mm/rot). Așa cum se vede din figura 5.58./81 și /71, pentru intervalele I_v mici în condițiile CT aplicate se obține o distribuție asemănătoare pentru cele două abateri, f_{fr} și $F_{\beta r}$.

Pentru I_v mai mari (figura 5.58./83 și /73) se obțin rezultate mai bune pentru CT în CAV (pentru f_{fr}), când distribuția aceste-

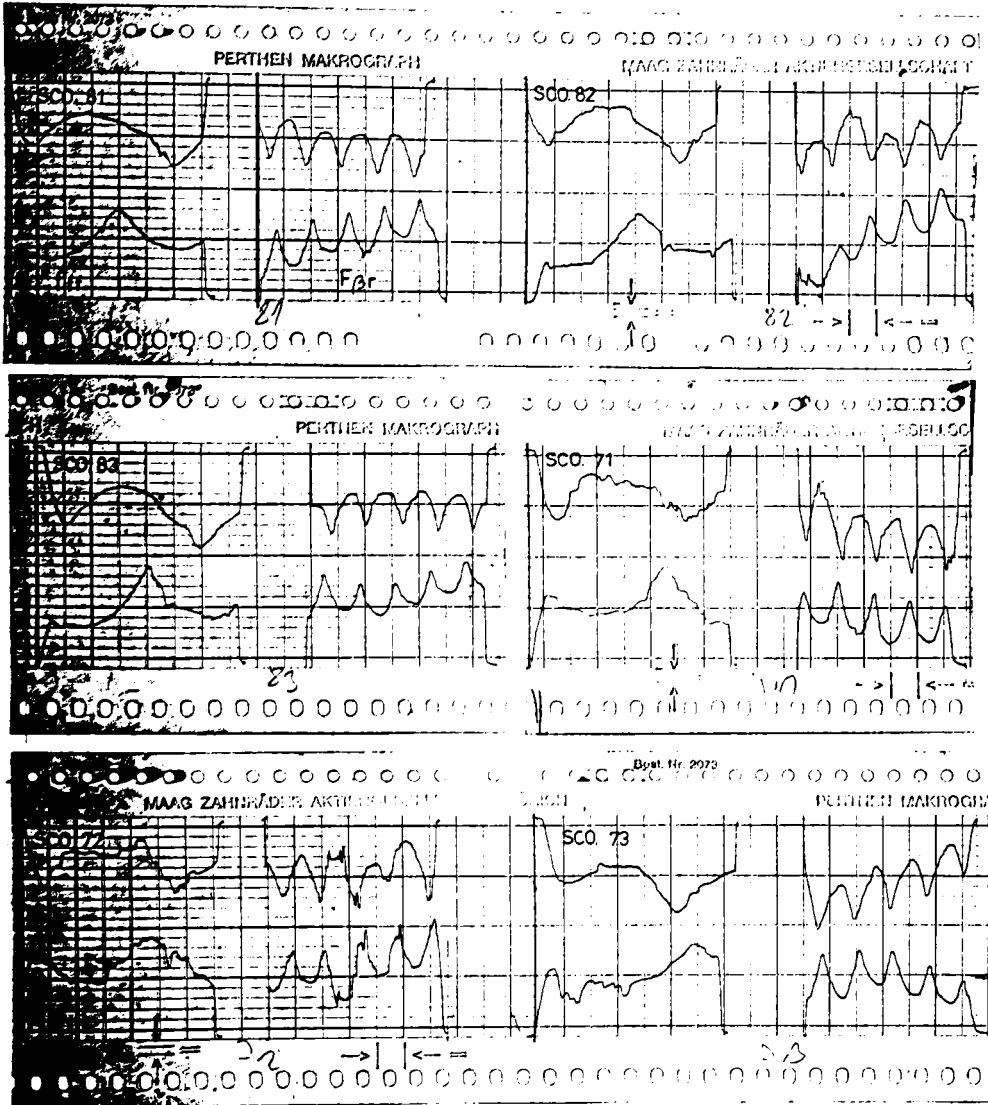


Fig.5.58. Abaterea f_{fr} și $F_{\beta r}$, CT în SAV și CAV, $s_{ref}=4$ mm/rot

ia este uniformă pentru ambele flancuri și cu valori absolute, mai bune pentru CT în CAV. Rezultatele mai bune s-au obținut pentru $F_{\beta r}$ în condițiile CT în SAV (figura 5.58./83). Din punct de vedere al valorii lui s_{ref} , pentru cele două CT în SAV, dar cu s_{ref} diferit (figura 5.58./81

82;83), în general sînt rezultate mai bune pentru $F_{\beta r}$. În același timp pentru I_v mai mari și s_{ref} mai mare, nu sînt deosebiri semnificative din punctul de vedere al distribuției valorilor lui f_{fr} .

c. CT în SAV și în CAV cu P_{ra} , Tip 1 și $s_{ref} = 4$ mm/rot

Dacă se vor compara rezultatele obținute pentru f_{fr} și $F_{\beta r}$, (figura 5.59.), pentru cele două CT în SAV și în CAV, se constata-

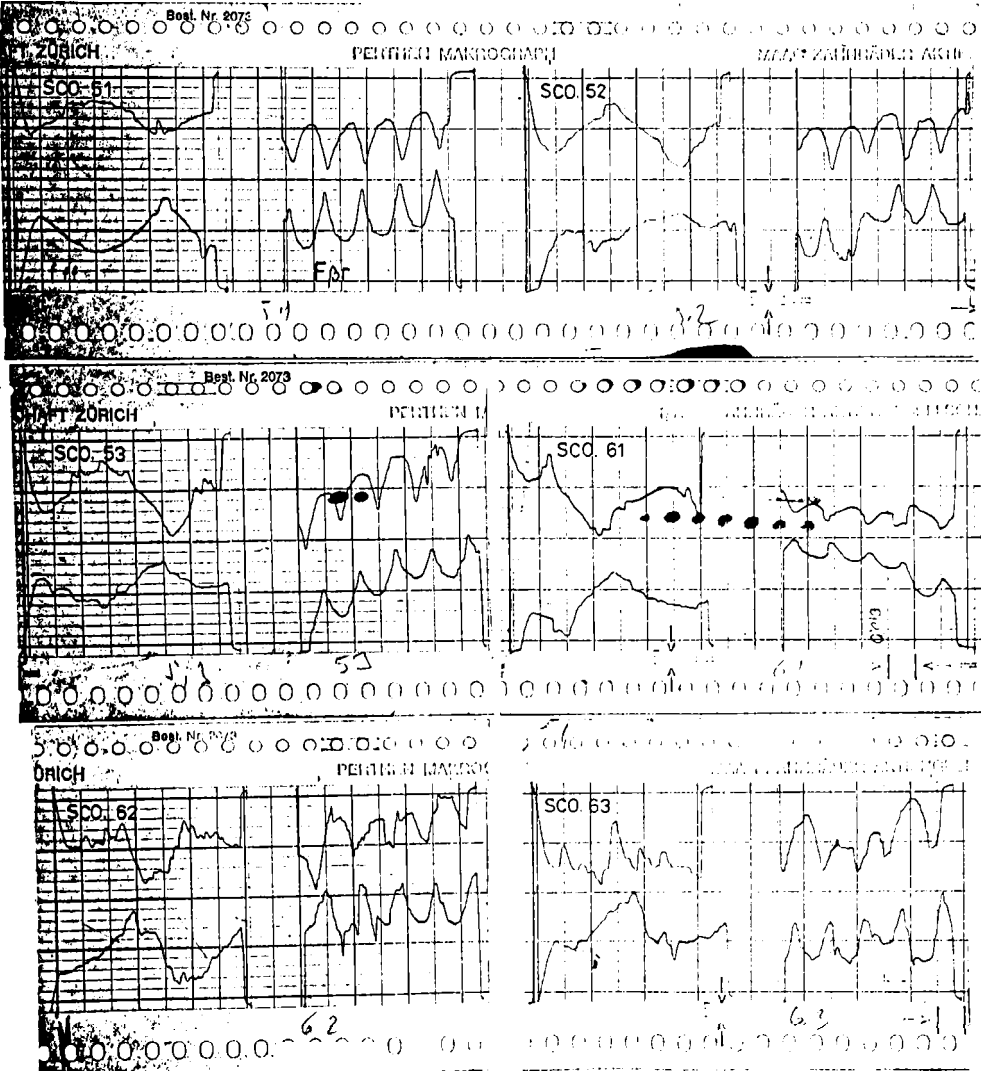


Fig.5.59. Abaterea f_{fr} și $F_{\beta r}$, CT în SAV și CAV, P_{ra} , $s_{ref} = 4$ mm/rot, Tip 1

tă că pentru I_v mari, rezultatele sînt evident mai bune pentru CT în CAV cu Pra și pentru f_{fr} , dar îndeosebi pentru abaterea $F_{\beta r}$. Rezultatele sînt deci superioare pentru $F_{\beta r}$, în toate cele trei cazuri analizate comparativ din figura 5.59., adică 51/61, 52/62, 53/63. Aceste rezultate pot fi interpretate și în contextul condițiilor mai bune pentru tășurile active în CT în CAV (figura 5.42. și 5.43.), și pentru v_h , mod în care analiza se poate extinde comparativ cu CT în SAV și CAV cu Pax pentru $v_{a\beta}$ variabil (figura 5.58. și 5.59.).

Pentru CT cu Pra la danturarea în CAV se constată o precizie superioară pentru I_v mari în condițiile analizării lui f_{fr} și sensibil mai bune pentru CT în SAV dacă se fac aprecieri față de abaterea de la direcția dintului $F_{\beta r}$, așa cum se vede și din figurile 5.58./83 și 5.59./53. Dacă se analizează CT în CAV cu Pra comparativ cu CT în CAV cu Pax, pentru I_v mari, se observă că se obțin rezultate superioare pentru CT în CAV (figura 5.59./63) și la modul general pentru oricare interval I_v , referitor la abaterea $F_{\beta r}$.

Considerînd un alt mod de formare a așchii datorită CT schimbat pentru Pra și în CAV, și de data aceasta se obțin rezultate calitative și cantitative mai bune pentru precizie, comparativ cu celelalte CT pentru aceleași valori ale mărimilor de referință.

Ca și concluzie generală pentru acest paragraf se poate aprecia că instalarea vitezei de așchiere variabile (ca mod de lucru s-a văzut în paragraful 5.3.), nu conduce la schimbări calitative și cantitative pentru cei doi indicatori f_{fr} și $F_{\beta r}$, în sensul înrăutățirii acestora, ci din potrivă se constată o stabilitate și chiar o îmbunătățire ușoară față de CT analizate pînă acuma.

5.4.5. Studiul influenței variației $v_{a\beta}$ asupra preciziei la danturarea RDC cu dinți înclinați

Pentru modul de lucru stabilit la danturarea RDC cu dinți înclinați, rezultatele obținute pentru precizia prelucrărilor sînt mai mult decît corelate cu cele de la uzură pentru același mod de lucru (figura 5.44.). Adică corespunzător uzurii mai mici a FMC în condițiile CA se obțin valori mai bune pentru abaterea f_{fr} mai ales în domeniul $v_{a\beta}$ de circa 40 m/minut (figura 5.60./0.61 - 0.5 și 0.62 - 0.52), și evident pentru abaterea $F_{\beta r}$ (figura 5.60./0.53), cu cele mai bune rezultate. Se reține că în condițiile RDC cu dinți înclinați, problema repartizării adaosului de prelucrare, mai ales după $F_{\beta r}$, este mai importantă decît în celelalte cazuri. Pentru $v_{a\beta} > 40$ m/min se pot constata de asemenea rezultate mai bune tot pentru modul de lucru cu CA,

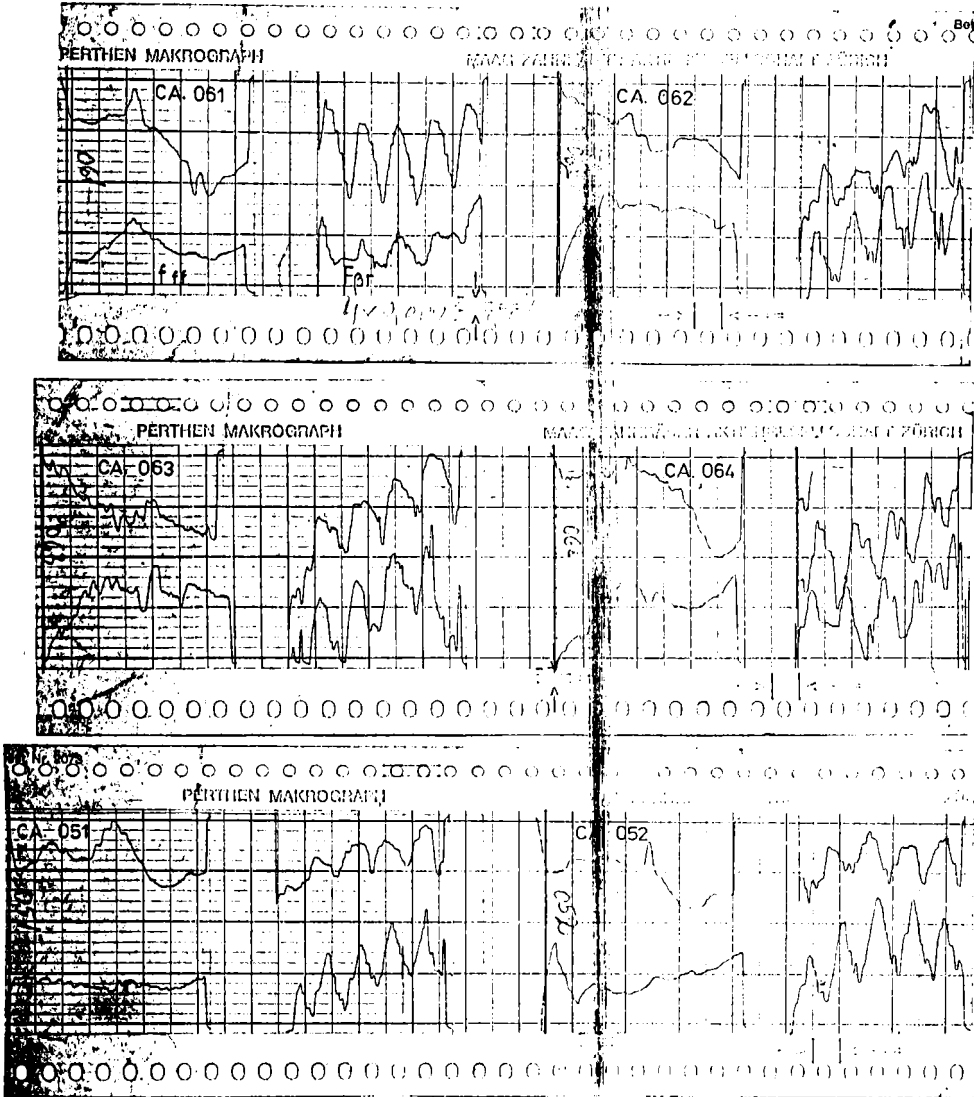


Fig.5.60.a.Abaterca f_{fr} și f_{dr} , CT în SAV, Pax, RDC cu dinți înclinați

(fig.5.60.b./o.54) când f_{fr} are valori absolute, evident mai mici decât pentru modul de lucru cu SGO (fig.5.60.a./o.64.). Și pentru acest caz al danturării RDC cu dinți înclinați, este semnificativ faptul că rezultatele calitative și cantitative, așa cum era de

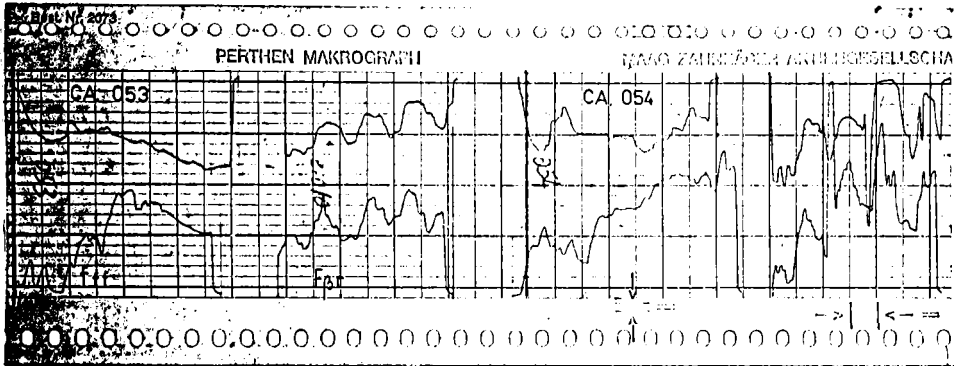


Fig.5.6o.b. Abaterea f_{fr} și $F_{\beta r}$, CT în SAV, Pax, RDC cu dinți înclinați

asteptat sînt tot pentru modul de lucru cu CA și foarte important de remarcat în condițiile creșterii v_{ag} , argument ce nu trebuie neglijat mai ales pentru o MDFMC cu CA și a v_{ag} .

5.4.6. Studiul influenței v_{ag} asupra preciziei la danturarea RDC cu SCO și SCA, CT în SAV, Tip 2 cu Pax

Pentru acest CT, trebuie de asemenea făcută precizarea, cu și în cazul cercetărilor privind uzura FMC, că se impunea în condițiile aplicării pentru prima dată a acestui CT prin CA, analiza și din punctul de vedere al preciziei RDC prelucrate.

Considerînd și pentru acest caz cercetat că regimurile de așchiere sînt superioare, unele neajunsuri în privința aspectelor calitative ale preciziei pot fi puse și pe seama acestor valori superioare, practic nefîntîlnite în mod curent în activitatea industrială.

Dacă se face o analiză a aspectelor de precizie pentru cele două I_v ale v_{ag} , ca pînă în prezent, se poate constata că în mod evident rezultatele privind abaterile f_{fr} sînt calitativ și cantitativ mai bune pentru modul de lucru cu CA (figura 5.61./o.41 și /o.42. față de modul de lucru cu SCO (figura 5.61./o.31. și /o.32.). Se pot face aprecieri și asupra abaterii de la direcția dintelui care are aspecte calitative și cantitative superioare pentru modul de lucru cu CA.

În domeniul $v_{ag} > 30$ m/minut, rezultatele obținute pentru f_{fr} și $F_{\beta r}$, pentru modul de lucru cu CA, sînt absolut evident mai bune pentru ambele abateri. Aceasta rezultă și dacă se compară figura 5.61./o.44 cu figura 5.61./o.34, cînd practic ca și pentru celelalte verificări

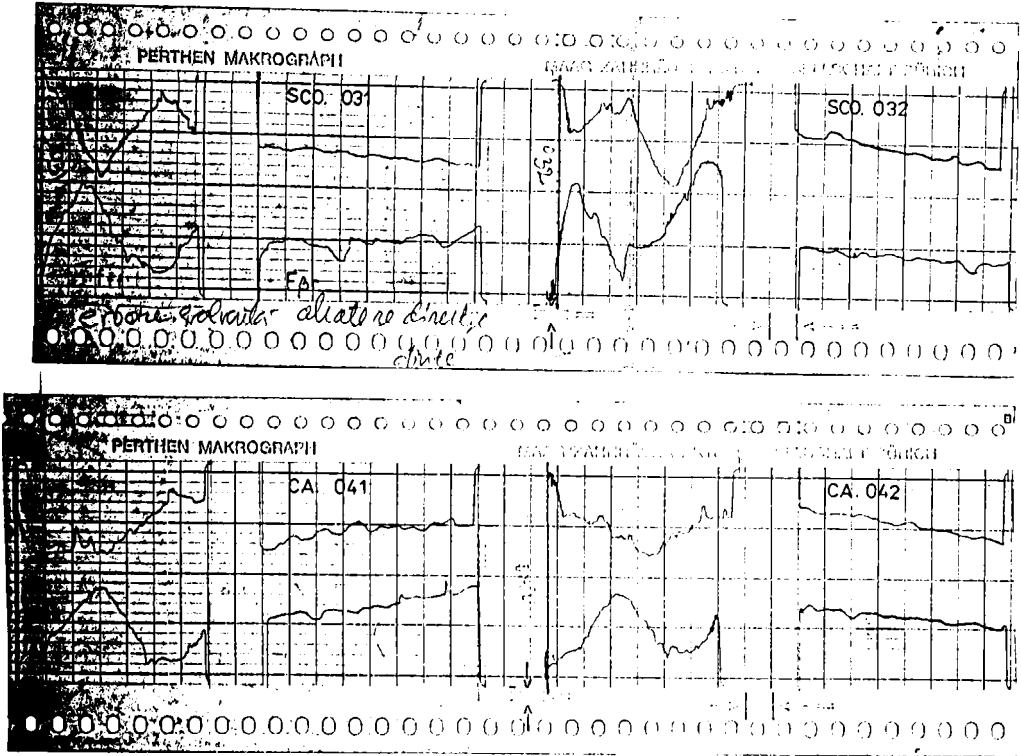


Fig.5.61.a.Abaterea f_{fr} și $F_{\beta r}$, CT în SAV, Pax, Tip 2

făcute în laboratorul de control din I.M.Cugir, RDC prelucrate cu SCO nu au corespuns, mai ales pentru abaterile f_{fr} . Rezultatele mai bune pentru modul de lucru cu CA, nu sînt întîmplătoare, ele sînt de fapt de așteptat și corelate cu uzura PMC, tocmai datorită unui mod aparte de desfășurare a procesului tranzitoriu la prelucrarea RDC. Se observă din figura 5.61. că cel puțin pentru condițiile din timpul desfășurării cercetărilor pentru cele trei etape ale prelucrării, intrare-sarcină-ieșire, raportînd la aspectul calitativ și cantitativ al abaterii $F_{\beta r}$, CA a controlat în mod aparte desfășurarea arșchierii față de SCO, pentru $v_{a\beta}$ mari ($v_{a\beta} > 50$ m/min). Comparînd rezultatele din figura 5.61./o.34, unde cele două abateri au aspecte total necorespunzătoare, cerințelor tehnice și tehnologice pentru prelucrarea RDC, cu SCO se relevă în mod distinct rezultatele mai bune din punc-

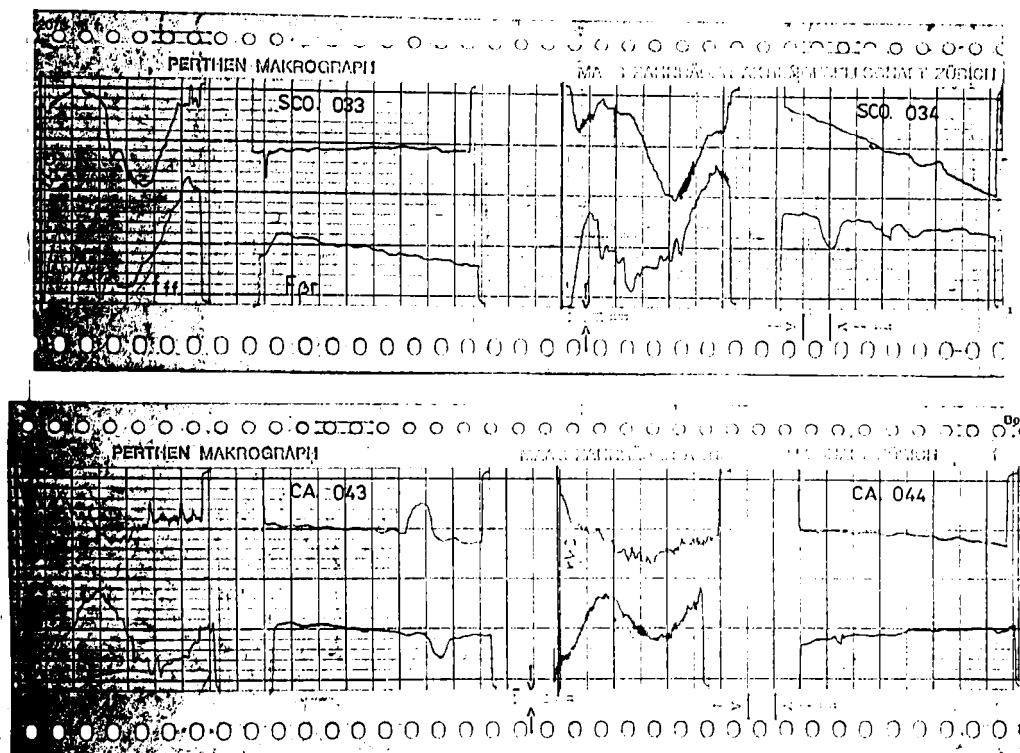


Fig.5.61.b. Abaterea f_{fr} și $P_{\beta r}$, CT în SAV, Pax, Tip 2

tul de vedere al preciziei la danturarea cu CA, unde practic $P_{\beta} = 0$.

5.5. Concluzii

Analiza generală a rezultatelor interpretabile prin prisma preciziei RDC danturate, oferă o certitudine a stabilirii bazelor tehnologice pentru relațiile de calcul a v_{aj} în condițiile aplicării CA și a vitezei, îndeosebi în SPP.

1. Pentru modul de lucru cu CA, în condițiile creșterii v_{aj} , pentru $s_a = \text{cts.}$, în mod evident se observă din figura 5.50./44- o stabilizare a calității tăgurilor FMC. Așa cum se vede abaterea f_{fr} și $P_{\beta r}$ variază, cu valori foarte mici față de cazul v_{aj} mici.

2. În condițiile aplicării CT în SAV cu Pax, Tip 1, comparativ pentru cele două moduri de lucru, înregistrările atestă rezultate mai bune obținute pentru h_r și KT în cazul CA, unde așa după cum se vede

din figura 5.51./o.4. ($v_{ag} = 40$ m/min) abaterea $F_{\beta r}$ și chiar f_{fr} sînt mai bune decît pentru modul de lucru cu SCO.

3. Pentru același CT, dar cu $s_{ref} = 4$ mm/rot, rezultatele obținute pentru f_{fr} și $F_{\beta r}$, sînt mai bune pe ansamblu pentru modul de lucru cu CA și îndeosebi pentru v_{ag} mari.

4. În condițiile aplicării CT în CAV cu Pax, Tip 1, pentru $s_{ref} = 4$ mm/rot, pentru $v_{ag} > 30$ m/min (figura 5.54./o.92 și /o.94), rezultatele sînt în mod evident mai bune comparativ cu cazul SCO și CA cu $s_{ref} = 2,5$ mm/rot și mai bune decît în cazul CA, Tip 1, CT în SAV cu Pax, figura 5.53./o.04.

5. Pentru CT în SAV cu Pra, Tip 1, pentru v_{ag} mari, figura 5.55./o.84, rezultatele pentru cele două abateri sînt mai bune în condițiile CA decît oricare caz analizat pentru acest CT. Pentru CT în CAV cu Pra, Tip 1 (figura 5.56./o.74) se obțin rezultate, de asemenea mai bune decît oricare caz pentru acest CT și sensibil mai bune comparativ cu CT în SAV cu Pra, figura 5.54./o.84, pentru abaterea de la direcția dintelui.

6. Dacă se compară aceste rezultate pentru cele două cazuri ale CT în SAV și în CAV, cele mai bune rezultate se obțin pentru CT în CAV cu Pax (figura 5.54./o.94), pentru ambele abateri și pentru CT în CAV cu Pra (figura 5.56./o.74.) mai puțin pentru abaterea de profil f_{fr} , pentru care se obțin rezultate mai bune în condițiile CT în SAV cu Pra (figura 5.55./o.84).

7. În condițiile aplicării variației continue a v_{ag} , pentru modul de lucru cu SCO se observă că variația v_{ag} nu are influență asupra abaterilor f_{fr} și $F_{\beta r}$, pentru orice CT în SAV sau în CAV și pentru s_a diferit. Rezultate mai bune se obțin totuși pentru CT în CAV cu Pax și îndeosebi pentru abaterea $F_{\beta r}$, în condițiile CT în CAV cu Pra.

8. Pentru RDC cu dinți înclinați, rezultate mai bune se obțin, așa cum se vede și din figura 5.60./o.51 și /o.52., pentru modul de lucru cu CA, pentru domeniul v_{ag} mai mare de 20 m/min., un amănunt semnificativ, în condițiile CA pentru v_{ag} de circa 35 m/min., s-au obținut rezultate mai bune îndeosebi pentru $F_{\beta r}$, (figura 5.60./o.53), lucru care nu trebuie neglijat mai ales în condițiile RDC cu dinți înclinați.

9. Rezultate convingătoare, s-au obținut în condițiile aplicării CT în SAV cu Pax, Tip 2, neinvestigat pînă acum (ca de altfel și celelalte cazuri), mai ales în condițiile CA. Dacă se compară rezultatele înregistrărilor pentru cele două moduri de lucru

evident în cazul CA, abaterea f_{fr} și mai ales F_{br} (figura 5.61./o.44), sînt printre cele mai bune pentru $v_{a3} > 45$ m/min., față de același caz pentru modul de lucru cu SCO. De fapt, în toate cele 4 cazuri analizate, pentru cele două abateri, rezultatele sînt mult mai bune pentru modul de lucru cu CA, cu toate că în acest caz avansul de lucru a fost instalat de MDFMC în intervalul 4 mm/rot-6,5 mm/rot, bineînțeles în condițiile unui tranzitoriu special datorat SCA.

10. Ca o concluzie generală, se poate desprinde ideea că în condițiile aplicării CA, comportarea FMC din punctul de vedere al uzurii (deci durabilității T), este sensibil mai bună sau cel puțin egală cu cea din condițiile SCO. Rezultatele mai bune pentru durabilitatea FMC și precizia de prelucrare a RDC, în condițiile CA, trebuie neapărat corelate cu creșterea capacității de producție, în condițiile aceleiași MDFMC, dar care reglează regimul de așchiere (s_a), în mod automat. Rezultatele mai bune sînt explicate, prin însuși caracterul aparte al procesului tranzitoriu de așchiere, în condițiile CA, cu care ocazie și geometria așchierii este cu totul schimbată, în avantajul creșterii capacității de așchiere a FMC, evident, tocmai datorită posibilității de control automat a încălzirii STE și redimensionării geometriei așchierii în consecință.

6.RELATIILE VITEZEI DE ASCHIERE

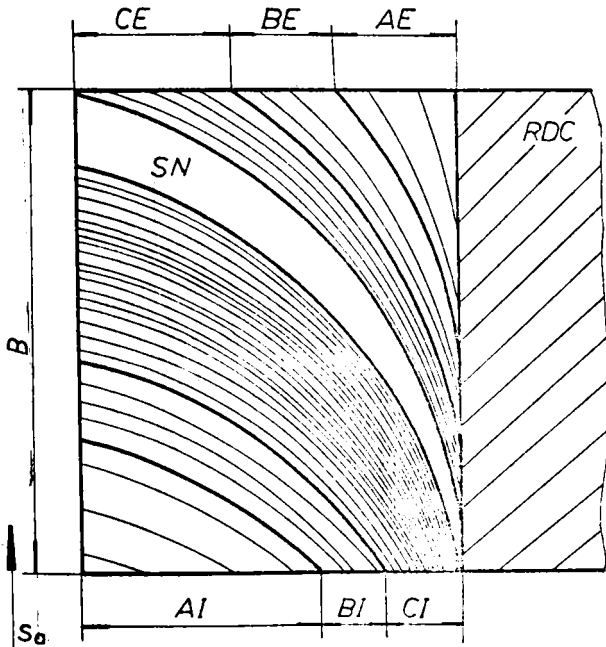
6.1.Obiective și metodică de lucru

În condițiile stabilirii corelațiilor tehnologice între parametri aşchierii la danturare și evoluția uzurii FMC, pentru cea mai mare parte a CT posibile de instalat pe MDFMC, se poate considera că s-au creat de fapt, bazele tehnologice ale stabilirii relațiilor vitezei de aşchiere. Includerea MDFMC cu CA a avansului și a vitezei într-un SFF, reprezintă pentru datele actuale ale economiei naționale, un obiectiv prioritar, care reclamă soluții tehnice noi pentru danturarea cu FMC.

Din analiza datelor experimentale și a concluziilor pentru diferitele situații investigate, se desprinde ideea că nu este strict necesar din punctul de vedere al procesului de aşchiere (tehnologic) și nici eficient, conducerea MDFMC cu CA și a vitezei de aşchiere, variabilă continuu, ci în trepte dependente de poziția FMC față de RDC. Se deduce ușor că plecând de la specificul danturării RDC, în regim tranzitoriu, corelat cu cele trei faze (intrare, sarcină nominală, ieșire), se impune stabilirea relațiilor vitezei de aşchiere pentru faza de intrare și de ieșire, pentru care nu se cunosc pînă acum relații de calcul.

Pentru sarcina nominală, care oricum cel mai adesea aproape că nu există, sînt cunoscute relații de calcul a $v_{aș}$ /4/, /74/, /77/, care nu satisfac cerințele pe fazele tranzitorii pentru MDFMC cu CA mai ales și a vitezei. Pentru stabilirea relațiilor vitezei de aşchiere, s-au ales condițiile aşchierii pentru CT în CAV cu Pax și Pra, pentru care s-au obținut rezultatele cele mai favorabile pentru uzură și precizia prelucrării RDC. Plecînd, tocmai de la aceste rezultate obținute se respectă totodată și concluziile din alte lucrări de specialitate /4/, /11/, /35/, /49/, /98/, referitor la danturarea cu FMC în CAV. Trebuie de asemenea precizat, că de fapt soluția constructivă a MDFMC cu CA a avansului, cît și echipamentul electronic, permit stabilirea unei legături informaționale și de execuție în funcție de valoarea avansului instalat la un moment dat, de numărul de rotații efectuate de piesă (sau de poziția ei unghiulară), pentru alegerea de $v_{aș}$ corespunzătoare, prin intermediul calculatorului propriu al SCA și pentru CA a vitezei, calculator necesar pentru MDFMC din CFF. În aceste condiții s-a apreciat că este suficient, dacă faza de intrare a RDC se împarte în trei zone AI, BI, CI, ca în figura 6.1.,

zone care de fapt se pot stabili cu precizie pentru fiecare RDC datorită posibilității SCA de a stabili în orice moment care este valoarea lui s_a , în timpul procesului tranzitoriu, așa cum s-a arătat mai înainte.



După cum se remarcă din fig.6.1., atacul FMC se produce cu așchii cu grosime mare și lungime mică, iar la ieșirea din așchiere, grosimea așchii este mai mică, dar lungimea mai mare, situație care avantajează comportarea FMC la uzură (pentru faza de intrare și ieșire). În acest caz, variația forței de așchiere se produce de la valori mari spre mici la ieșirea din așchiere și care în condițiile creșterii v_{ag}

Fig.6.1. Mod de lucru al FMC, CT în CAV, Paz pentru faza AI, ar conduce și a răscărea mai puțin a sculei și scurtarea timpului de contact al tăgăturilor aceluiași dinte cu semifabricatul, cu implicații asupra îmbunătățirii durabilității FMC pe această zonă. Scăderea avansului pentru zonele BI și CI, este însoțită și de scăderea v_{ag} , parametrul tehnologic cu implicații majore asupra evoluției uzurii FMC, așa cum s-a arătat în capitolul 5.

Pentru CT în CAV cu Pro, modul de lucru este prezentat în figura 6.2., unde așa cum se vede desfigurarea procesului de așchiere, ar avea același aspect din punctul de vedere al variației grosimii așchii, însă în acest caz gradientii de presiune și temperatură au valori ridicate pentru fața A_0 și în mod evident la v_{ag} mici, așa cum se știe uzura ar avea valorile cele mai mari pe A_0 , tocmai de aceea în plus față de cele mai înainte precizate se mai adaugă și acest argument la creșterea v_{ag} pentru faza AI.

În condițiile scăderii lui s_r , în zonele BI și CI se recomandă reducerea v_{ag} pentru compensarea efectelor creșterii forțelor de așchiere datorită cărora are loc și scăderea avansului de lucru.

În ceea ce privește ieșirea, respectiv zonele CE, BE și AE

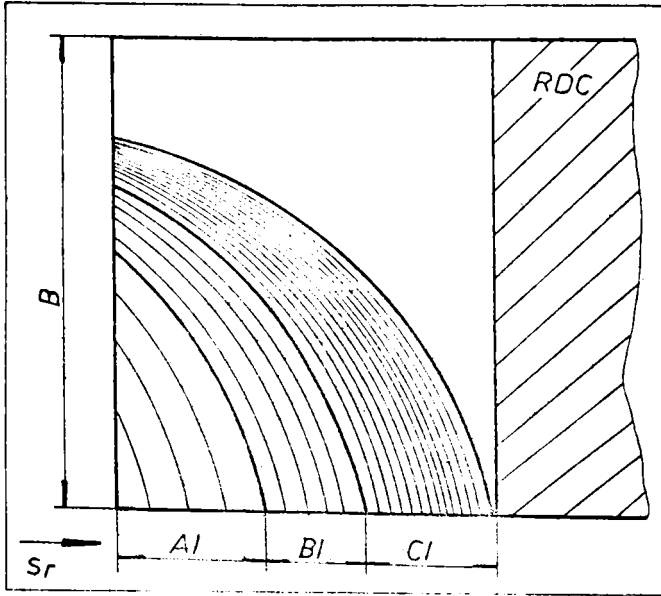


Fig.6.2. Mod de lucru al FMC, CT în CAV cu Pra

(figura 6.1.), ele sînt aceleași și în cazul CT în CAV cu Pra, deoarece după realizarea adîncimii de prelucrare a RDC se știe că are loc cuplarea s_n , prelucrarea decurgînd de aici înainte ca în figura 6.1.

Interpretarea rezultatelor proprii privind evoluția uzurii FMC și preciziei RDC prelucrate, corelat cu aspectele prezentate pentru cele două CT impune un mod de lucru complex privind identificarea valorilor limită ale uzurii h_r , care se vor lua drept criteriu al durabilității FMC /48/.

În figura 6.3., se prezintă separarea zonelor de lucru pentru prelucrarea RDC în faze de intrare. Separarea zonelor s-a făcut

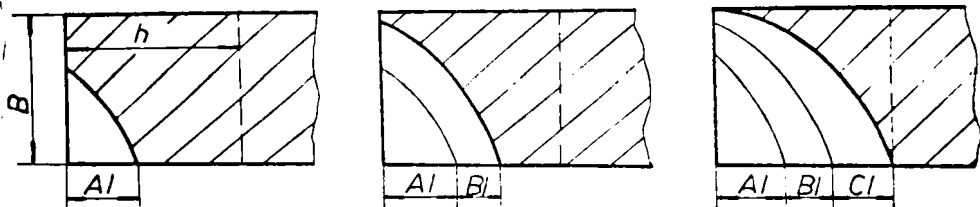


Fig.6.3. Zone de lucru pentru FMC, intrare, CT în CAV

pe baza observării distanțelor și timpilor în care au loc schimbări sensibile ale avansului real instalat prin CA a avansului. Astfel, prima zonă se efectuează practic cu s_n maxim, a doua zonă cu avan-

suri intermediare, iar a treia zonă este a valorilor care se apropie de cele de referință și unde variațiile către s_{ref} sînt mai lente.

Pentru fiecare zonă (figura 6.3.), s-a stabilit aș se efectueze în condițiile fazei de intrare, un număr de experimentări care să edifice suficient asupra mărimii uzurii, respectiv a legii de creștere a acesteia în timp pentru fiecare din zonele menționate.

În mod similar pentru cele trei zone de lucru ale ieșirii, împărțirea s-a făcut pe aceleași criterii, figura 6.4., ca și la in-

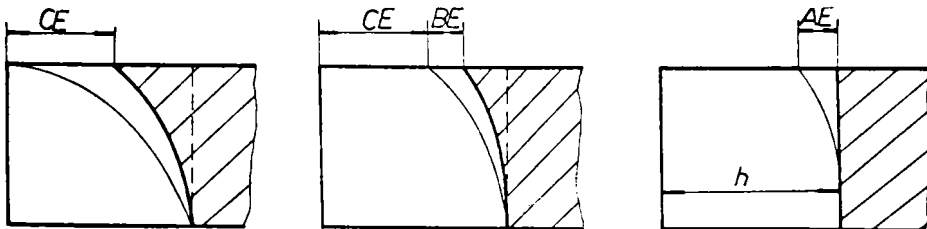


Fig.6.4. Zone de lucru pentru FMC, ieșire, CT în CAV

trare, unde de asemenea se va urmări printr-o serie de experimente, legea de variație în timp a uzurii.

Pentru stabilirea valorilor uzurii h_r s-a utilizat echipamentul proiectat, realizat și prezentat în paragraful 4.3. Determinările au fost efectuate ca și în capitolele precedente la I.M. Cugir.

Reinstalarea FMC pentru danturarea față de RDC în condițiile în care AI (sau BI, CI), a fost prelucrată (după fiecare RDC), s-a făcut prin angrenarea dintelui FMC cu gelul creat pentru fiecare caz în parte.

În vederea stabilirii condițiilor reale de calcul a v_{ag} pentru faza integrală de intrare sau ieșire a FMC din sarcină, se impune totuși studiul evoluției uzurii h_r diferențiat pentru prelucrarea RDC la intrare și la ieșire. În aceste condiții s-au efectuat danturări pentru aceleași loturi de piese, în condiții identice de lucru, în care caz însă măsurarea uzurii h_r s-a efectuat după prelucrarea fie a fazei de intrare sau de ieșire a RDC, pentru lotul de piese stabilit.

6.2. Rezultate experimentale

Plecînd de la metoda de lucru stabilită și redată mai sus, s-au efectuat cercetările privind stabilirea condițiilor concrete privind evoluția uzurii pentru diferite v_{ag} , în condițiile danturării RDC pe zone atât la intrarea cît și la ieșirea FMC din apchiere.

6.2.1. CT în CAV cu Pax, la intrare, a fost aplicat din condi-

derentiale pe larg expuse pe parcursul tezei, diferențiat pentru zona AI, BI, CI pentru danturarea RDC în condiții tehnologice identice.

În figura 6.5. sînt prezentate rezultatele determinărilor pentru zona AI în condițiile danturării cu patru v_{ag} diferite. Se

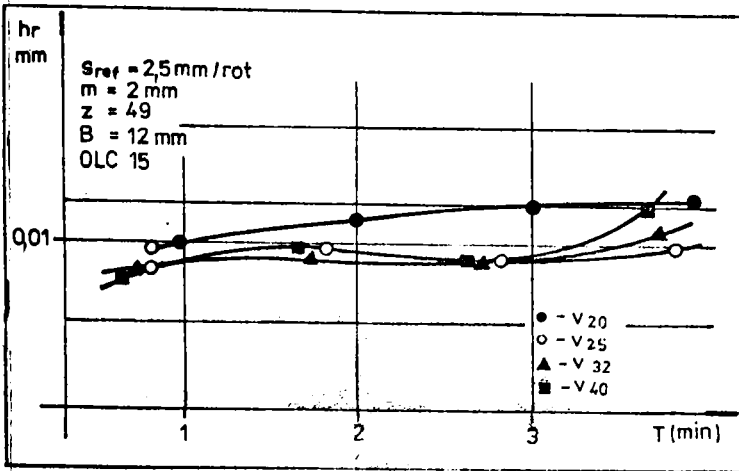


Fig. 6.5. Variatia lui h_r , CT în CAV, Pax, zona AI

rea RDC cu v_{ag} considerate mari, față de cele aplicate în mod obișnuit pînă acum ($> 20 \text{ m/min}$), tocmai datorită necunoașterii situației reale, a legăturii evoluției

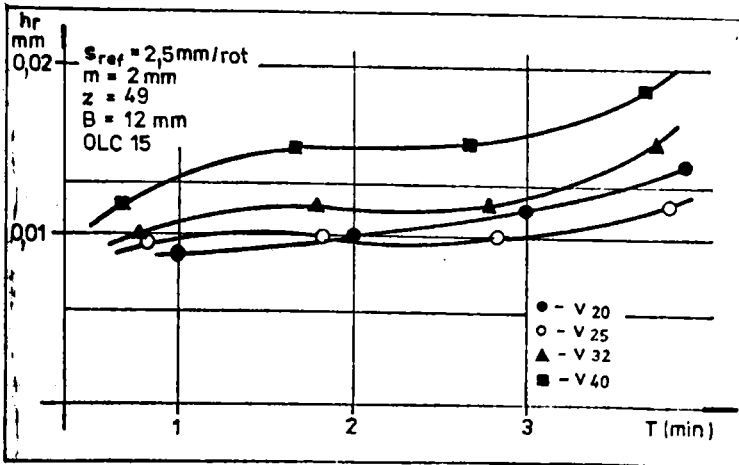


Fig. 6.6. Variatia lui h_r , CT în CAV, Pax, zona BI

observă că pentru $v_{ag} > 20 \text{ m/min}$, rezultatele privind evoluția lui h_r , sînt pînă la v_{ag} de circa 32 m/min aproape identice, mai mult chiar și pentru $v_{ag} > 32 \text{ m/min}$ se mențin încă în zona valorilor mici. Aceste rezultate arată că de fapt în zona AI, se poate efectua prelucrarea

lui h_r cu v_{ag} . Se mai observă că la v_{ag} mici (de circa 20 m/min) de fapt uzurile sînt mai mari.

Se constată că pe măsură ce FMC, pătrunde în domeniul așchilor lungi și cu grosime mică (s_a scade, deci condiții ale așchierii schimbate), figura 6.6.,

se impune danturarea cu $v_{a\dot{s}}$ cuprinsă între 20 - 25 m/min și evident se remarcă menținerea rezultatelor bune și pentru $v_{a\dot{s}}$ de circa 30 m/min., pentru un interval de timp corespunzător. Din figură se constată că nici într-un caz nu se poate dantura în această zonă cu $v_{a\dot{s}} > 30$ m/min, tocmai plecând de la aspectul evoluției uzurii h_r pentru $v_{a\dot{s}} > 30$ m/min.

În condițiile danturării în zona CI, figura 6.7., rezultatele impun în mod evident danturarea cu $v_{a\dot{s}}$ cuprinsă între 20 - 25 m/min.,

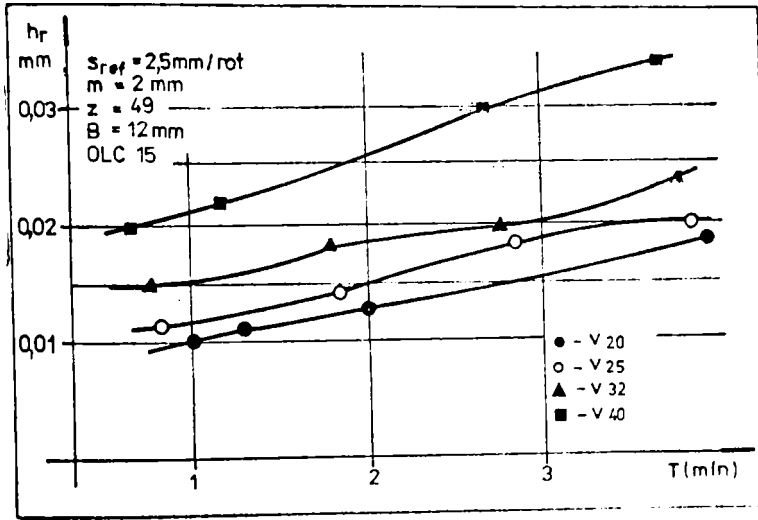


Fig. 6.7. Variația lui h_r, CT în CAV, Pax, zona CI

semifabricat. Rezultatele obținute pentru evoluția lui h_r la valorile lui $v_{a\dot{s}}$ de circa 40 m/min, elimină posibilitatea continuării danturării pe MDFMC cu CA a avansului cu $v_{a\dot{s}}$ mari în zona CI.

6.2.2. CT în CAV cu Pax, la ieșire, pentru zonele AE, BE, CE, este pentru cazul danturării RDC de la lungimi mari ale așchii și grosimi mici la lungimi mai mici și cu grosimi mai mari, caz în care s_n ia valori în jurul celor de referință ($s_{ref} = 2,5$ mm/rot).

În figura 6.8., rezultatele obținute pentru h_r , mențin optime valori ale lui $v_{a\dot{s}}$ de circa 25 m/min, din motive explicate mai sus și elimină de asemenea posibilitatea danturării cu $v_{a\dot{s}} > 30$ m/min, în condițiile în care se dorește a se obține o creștere a durabilității FMC.

Pentru zona CE, este semnificat faptul că cele două viteze de așchiere, de 32 m/min și 40 m/min, dau rezultate pentru h_r cu valori

cu o evoluție mai bună pentru $v_{a\dot{s}}$ 25 m/min., decât la așchiere de până la 20 m/min. Rezultatele bune pentru $v_{a\dot{s}}$ către 25 m/min se justifică și prin ventilația mai bună a FMC în condițiile creșterii $F_{a\dot{s}}$ și scăderii avansului de lucru, de asemenea prin reducerea timpului de contact între suprafața A_d și

superioare față de zona CI, datorită în mod sigur și faptului că SCA, menține s_a în zona lui s_{ref} , mai mult timp, fiind zona de trecere

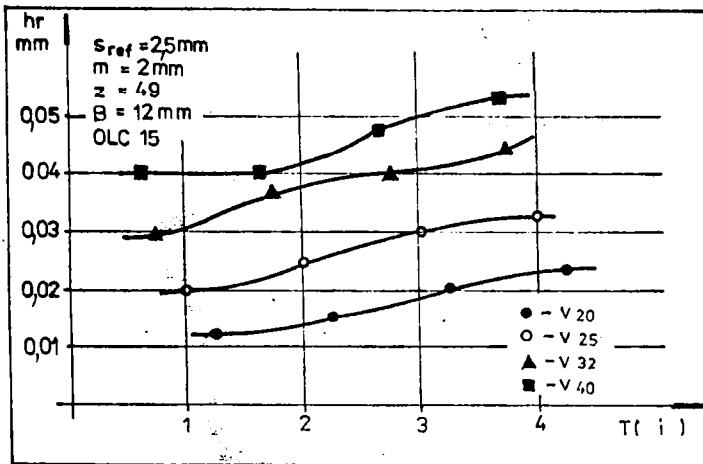


Fig. 6.8. Variatia lui h_r , CT în CAV, Pax, zona CE

lui, care conduce la creșterea lui F_{a3} , deci, dacă și v_{a3} ar crește, atunci evoluția uzurii h_r ar fi spre valori foarte mari, pentru timpul relativ mic al danturării în zona CE.

Este interesantă evoluția uzurii h_r , pentru zona BE, figura

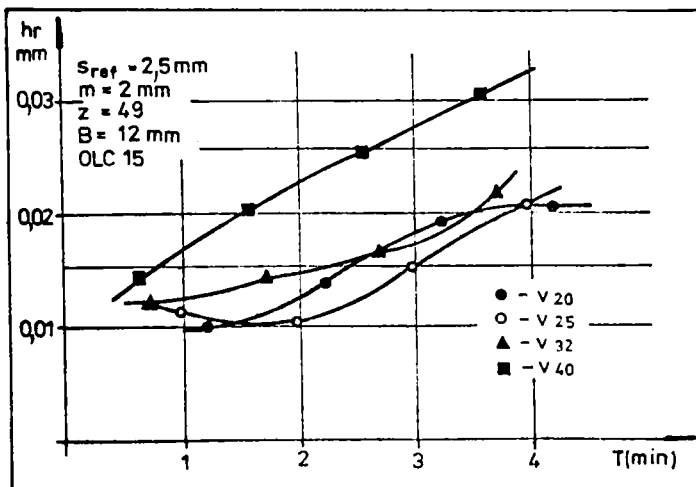


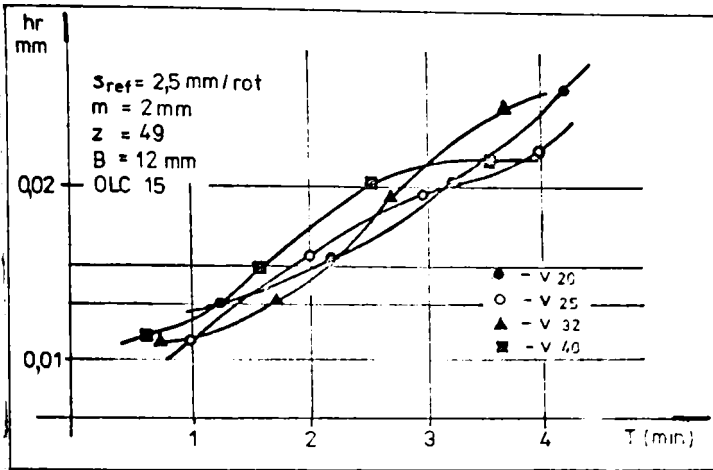
Fig. 6.9. Variatia lui h_r , CT în CAV, Pax, zona BE

de la lungimi mari spre mici ale așchii și grosii — — ci spre mari. În acest mod, de fapt, valorile lui F_{a3} sînt mari și P_{a3} depinde și de valoarea lui v_{a3} , SCA lucrînd cu mărimea de referință, P_{a3} , pentru a o menține, în jurul valorii optime, reduce valoarea avansu-

6.9., cînd așa cum se vede, rezultatele pentru cele trei v_{a3} (20, 25, 32 m/min), sînt concentrate între 0,01 - 0,02 mm. De sigur cele două v_{a3} (20-25 m/min), se impun ca fiind cele recomandate, dar așa cum se vede SCA este pregătit să treacă de la așchii de grosime mică

la mare, fapt pentru care se anunță deja zona de aplicare a $v_{a\dot{g}}$ mari (AE), prin rezultatele bune obținute chiar și pentru $v_{a\dot{g}} = 32$ m/min.

Dacă se analizează rezultatele obținute pentru zona AE, figu-



ra 6.10. se constată așa cum era și firesc că se pot înstala, la ieșire valori ridicate ale lui $v_{a\dot{g}}$ (32-42 m/min), care pentru $v_{a\dot{g}}$ de circa 40 m/min, prezintă o tendință de stabilizare a tăgurilor FMC, exprimată prin valori mai mici ale lui h_p decât pentru oricare dintre $v_{a\dot{g}}$ utilizate după a-

Fig. 6.10. Variația lui h_p, CT în CAV, Pax, zona AE

celăși timp de prelucrare. Distribuția curbilor de uzură, h_p , pentru cele două faze ale danturării intrare, ieșire, constituie un argument tehnologic pentru stabilirea unui anume mod de calcul al lui $v_{a\dot{g}}$, tot mai datorită și faptului că în afară de deosebirile esențiale privind $v_{a\dot{g}}$ distinctă care trebuie aplicată într-o zonă sau alta, toate cazurile analizate conduc spre valori diferite ale lui $v_{a\dot{g}}$ în timp.

Legat de modul de lucru al SCA și de evoluția uzurii h_p , va trebui ca relația lui $v_{a\dot{g}}$, astfel stabilită să conducă spre valori ce să fie realiste, conforme cu situația la acel moment al danturării.

6.2.3. CT în CAV cu Pra. INTRARE

Rezultatele pentru CT în CAV cu Pra, sînt de asemenea obținute în condiții identice ale danturării cu FMC, ca și la intrare și așa cum s-a constatat sînt sensibil ridicate valoric pentru h_p , comparativ cu CT în CAV cu Pax, dar foarte bune încă din punctul de vedere al evoluției uzurii FMC funcție de $v_{a\dot{g}}$.

Dacă se analizează evoluția uzurii h_p din figura 6.11., comparativ cu cea din figura 6.5., se constată că domeniul $v_{a\dot{g}}$ mari, se impune distinct pentru acest caz, dar cu valori superioare cazului CT în CAV cu Pax. Deci, se poate vorbi despre o separare clară a influenței $v_{a\dot{g}}$ la danturare în zona AI, dar cu valori superioare, mai ales

pentru domeniul $v_{a\dot{s}}$ mici. De asemenea, și pentru acest CT, se im-

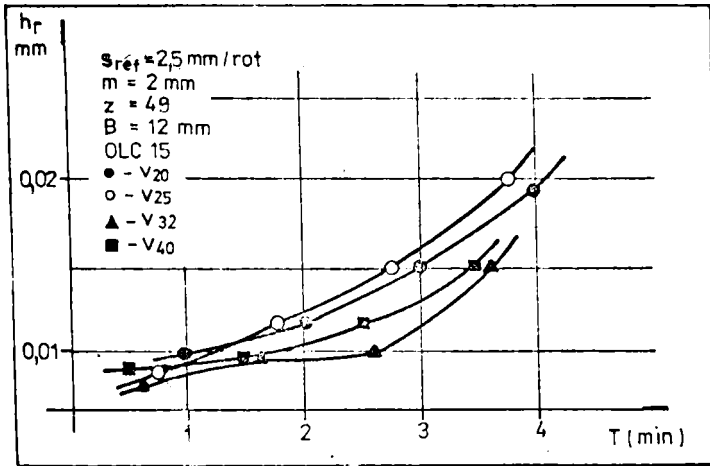


Fig.6.11. Variația lui h_r, CT în CAV, Pra, zona AI

cu CT cu Pax, cînd după cum se știe în acest caz (Pra), atacul FMC se produce în direcția adîncimii golului dintelui și în consecință cu o încărcare mai mare pe fața A_α a dintelui FMC.

În aceleași condiții pot fi analizate și rezultatele obținute pentru danturarea în zona BI, figura 6.12., cînd în mod asemănător se remarcă o departajare evidentă a grupului de valori ale

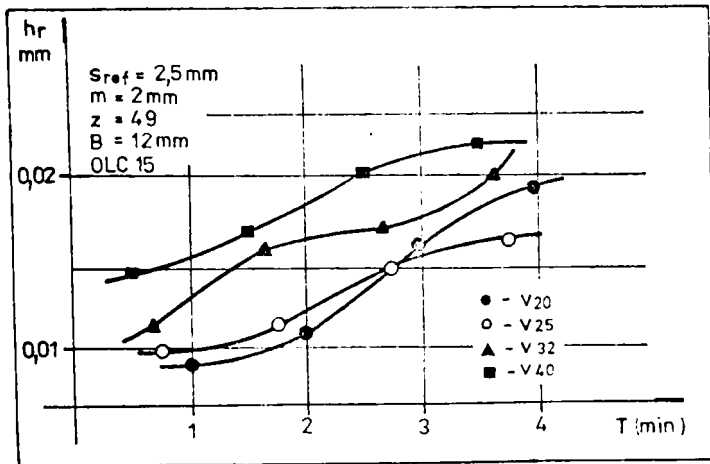


Fig.6.12. Variația lui h_r, CT în CAV, Pra, zona BI

pun valori ale lui $v_{a\dot{s}}$ e circa 35 m/min, ca optime pentru danturarea în zona AI. Creșterea mai accentuată a uzurii pentru acest CT, poate fi explicată și datorită valorilor ridicate a gradientilor de

presiun și temperatură pe fața A_α comparativ

cu fața A_β comparativ cu fața A_α comparativ cu fața A_β și cu valori superioare pentru h_r , față de CT în CAV cu Pax (figura 6.6.).

Așa cum s-a mai spus distribuția uzurii h_r pentru CT în CAV cu Pax recomandă totuși aplicarea acestui procedeu al danturării, unde după cum

s-a arătat, se constată o variație a uzurii mai potrivită privind aplicarea unei relații de calcul a $v_{a\dot{z}}$ diferentiat pe zone ale danturării RDC.

Rezultatele obținute pentru zona CI, figura 6.13., sînt asemănătoare ca distribuție CT în CAV cu Pra, figura 6.7., de asemenea și

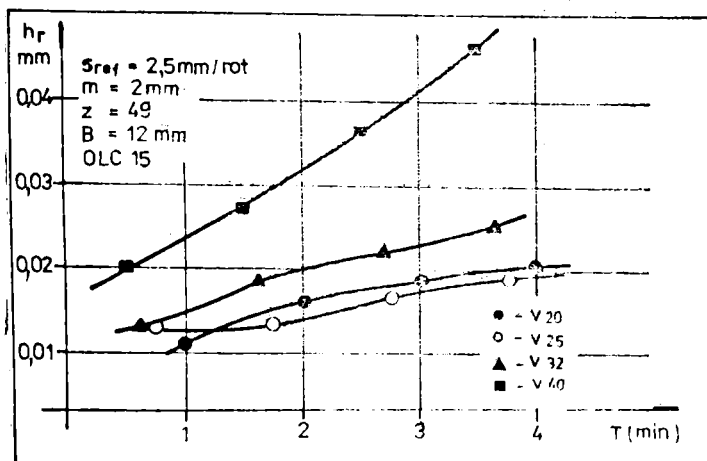


Fig.6.13. Variația lui h_r , CT în CAV, Pra, zona CI

fi necesară o cercetare specială pentru a se vedea dacă nu cumva creșterea capacității de producție prin instalarea CT cu Pra, ar avantaja față de pierderea de durabilitate a FMC datorită lui v_h mai mare la acest CT.

6.2.4. CT în CAV cu Pra și Pra. INTRARE-IESIRE

Este important să se verifice dacă în condițiile danturării, în regim tranzitoriu, pentru faza de intrare și de ieșire (separat) se regăsesc, rezultatele pentru variația uzurii h_r , corespunzător aceluiași valori ale lui $v_{a\dot{z}}$, în condiții identice de prelucrare a RDC.

În figura 6.14., sînt prezentate rezultatele experimentale pentru faza intrare și ieșire, referitor la evoluția lui h_r funcție de $v_{a\dot{z}}$. În condițiile danturării de loturi egale formate din 5 RDC (ca și pentru paragraful 6.2.2. și 6.2.3.), numai pentru faza de intrare, pînă la lungimea maximă a așchii (figura 6.3.c.), așa cum se vede din figura 6.14., se constată o evoluție asemănătoare pentru cele două CT aplicate, cu valori mai mici pentru CT cu Pra, pentru ca la valori crescătoare ale lui $v_{a\dot{z}}$ (peste 25 m/min), h_r să aibă valori mai mici cu maximul

pentru această zonă s-au obținut valori superioare pentru h_r în plus se vede că pentru $v_{a\dot{z}}$ de circa 20 m/min se obțin valori ale lui h_r mai mici, fapt care recomandă pentru această zonă domeniul $v_{a\dot{z}}$ mici.

Ca o concluzie, asupra tipurilor de CT, se reține că pătrunderea radială (Pra), are v_h mai mari, deci ar

în jurul lui 0,03 mm. Comparând maximele și minimele pentru h_r se constată că ele se regăsesc între valorile obținute în condițiile

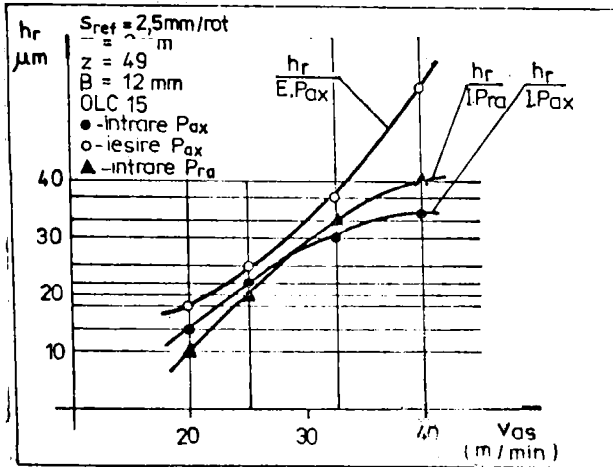


Fig. 6.14. Variația lui h_r , CT în CAV

le de la danturarea pe zone (A, B, C), sînt explicabile și constituie argumente hotărîtoare pentru aplicarea danturării cu v_{ag} diferite. Dacă se compară evoluția uzurii h_r la ieșire, de exemplu se vede că tocmai datorită menținerii v_{ag} constante, pe parcursul zonelor de prelucrat, h_r are valori superioare în acest față de condițiile in-

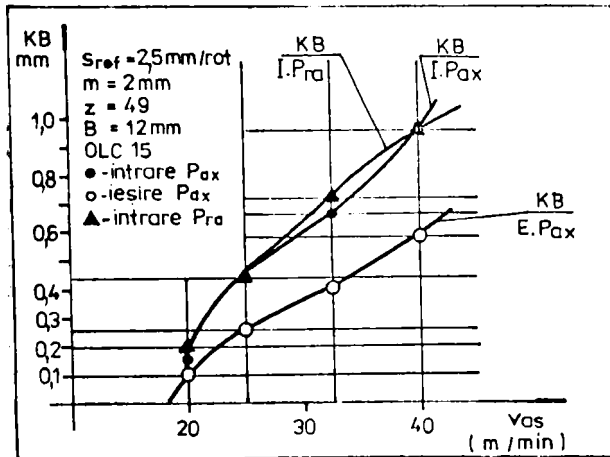


Fig. 6.15. Variația uzurii KB, CT în CAV

cercetării efectuate pe zone ale intrării pentru cele două CT. Evoluția uzurii pentru zona ieșirii este asemănătoare și cu valori apropiate de cele obținute pentru v_{ag} pînă la 35 m/min, după care h_r ia valori mai mari decît în zona intrării pentru aceleași viteze de așchiere. Rezultate obținute pentru diferitele v_{ag} aplicate la danturarea acelor așii loturi de RDC, întrucîtva mai mari decît ce-

le de la danturarea pe zone (A, B, C), sînt explicabile și constituie argumente hotărîtoare pentru aplicarea danturării cu v_{ag} diferite. Pentru acest caz al danturării, s-au făcut măsuri și pentru lățimea craterului uzurii KB pe fața A și a B, rezultatele sînt prezentate în figura 6.15. Evoluția uzurii KB pentru cele două CT, este identică, (pentru cele două cazuri ale pînă la intrării), cu valori sensibil mai mici pentru CT cu Pax. Datorită modului diferit al așchierii în

condițiile creșterii v_{ag} , scăderii sau creșterii avansului de lucru, pentru KB la ieșire s-au obținut valori mai mici decât pentru h_r . Acest lucru se explică prin creșterea grosimii așchii la ieșire care conduce la KB mici pe A_{α} și prin creșterea v_{ag} la ieșire care de regulă conduce la creșterea uzurii pe fața A_{α} , deci a lui h_r .

6.3. Stabilirea relațiilor vitezei de așchiere

Complexitatea aspectelor constatate pe parcursul desfășurării cercetărilor, legat de evoluția uzurii FMC și precizia prelucrării RDC pe MDPMC cu CA a avansului, au arătat că pentru cazul studiat, în condițiile aplicării și a CA a v_{ag} , se impune soluționarea problemelor legate de relația de calcul a vitezei de așchiere. Pentru prima dată, au fost formulate aspecte legate de necesitatea stabilirii unor relații de calcul pentru viteza de așchiere /99/, /100/, diferențiat pe zone ale intrării și ieșirii la danturarea RDC pe MDPMC cu CA a avansului, tocmai plecând de la problemele ridicate de realizarea unei CF pe bază de contract la I.M.Cugir.

Față de complexitatea condițiilor întâlnite în soluționarea operațiilor tehnologice și ținând cont de aspectele contradictorii și neclarificate, care apar în timpul danturării RDC, trebuie să constatăm că cele două cerințe, cost și capacitate de producție, nu pot fi satisfăcute în același timp. Formularea unuia sau altuia dintre aceste criterii, în vederea optimizării proceselor de așchiere, are la bază diversele moduri de exprimare, cel mai adesea al v_{ag} , pe baza relației lui Time-Taylor.

Stabilirea unei relații a vitezei de așchiere, este impusă de limitele actuale ale utilizării relației cunoscute, care nu poate fi aplicată decât pentru sarcina nominală, dar care cel mai adesea nici nu există la danturarea RDC și mai ales de faptul că exprimarea acesteia funcție de durabilitatea T (înțeleasă în sens tradițional), numai satisface exigențele actuale reclamate îndeosebi de CFF. Se impune exprimarea lui T , printr-o mărime sau alta a uzurii luate drept limită a acesteia și care satisface prelucrarea pe MU cu SCA.

Plecând de la nenumăratele lucrări, elaborate în domeniul cercetării influenței v_{ag} la danturare, asupra evoluției uzurii FMC, /40/, /41/, /44/, /45/, /85/, /86/, /96/, /97/, /98/, /99/, /100/ și pe baza rezultatelor obținute și prezentate în paragraful 6.2., în cele ce urmează se va prezenta modul de stabilire a relațiilor de calcul a v_{ag} , pentru faza intrare și ieșire, plecând de la relația generală cunoscu-

tă a acesteia.

Dacă în relația 1, a durabilității, pentru danturare:

$$T = C_V^{\mu} / v^{\mu} \cdot s^{\mu x_V} \cdot m^{\mu y_V} \quad [\text{min}] \quad (1)$$

în care:

- C_V - coeficient al vitezei de așchiere;
- μ - inversul exponentului durabilității ($\mu = 1/n$);
- x_V - exponent al avansului;
- y_V - exponent al modulului sculei;

se exprimă durabilitatea economică T printr-o expresie de forma:

$T = C_T \cdot h_r \cdot s^w$, se obține:

$$v = C_V / C_T^n \cdot h_r^n \cdot s^{(x_V+w) \cdot n} \cdot m^{y_V} \quad [\text{m/min}] \quad (2)$$

Explicitînd pe C_T din relația (2) se obține:

$$C_T = C_V^{1/n} / v^{1/n} \cdot h_r^{x_V \cdot 1/n + w} \cdot m^{y_V/n} \quad (3)$$

Analizînd relația obținută, constatăm că C_T și w , sînt necunoscute, pentru care dacă admitem un șir de valori diferite pentru w , obținem un șir de valori pentru C_T ($C_T = f(w)$). Considerînd k grupuri de valori pentru v , h_r , s , m , obținem k grupuri de perechi (C_T , w), din $C_{Ti} = f(w_i)$, $i = \overline{1, k}$.

Reprezentînd grafic, cu ajutorul calculatorului electronic, funcțiile $C_{Ti} = f(w_i)$, $i = \overline{1, k}$, se obține un fascicol de curbe care în cazul ideal se intersectează într-un anumit punct comun, ale cărui coordonate reprezintă perechea (C_T , w), care verifică toate relațiile $C_{Ti} = f(w_i)$, indiferent de grupul de valori v , h_r , s , m .

Pe baza algoritmului prezentat, utilizînd calculatorul electronic, s-a întocmit un program în limbaj BASIC, a cărui schemă logică este prezentată în figura 6.16.

Programul oferă următoarele posibilități:

- reprezentări grafice a fascicolului de curbe $C_{Ti} = f(w_i)$; $i = \overline{1, k}$;
- determinarea punctelor de intersecție a tuturor perechilor de două curbe $C_T = f(w)$;
- verificarea valabilității valorilor C_T , w , prin calcularea valorii v_{ag} pe baza relației 2, și a datelor tehnologice pentru:

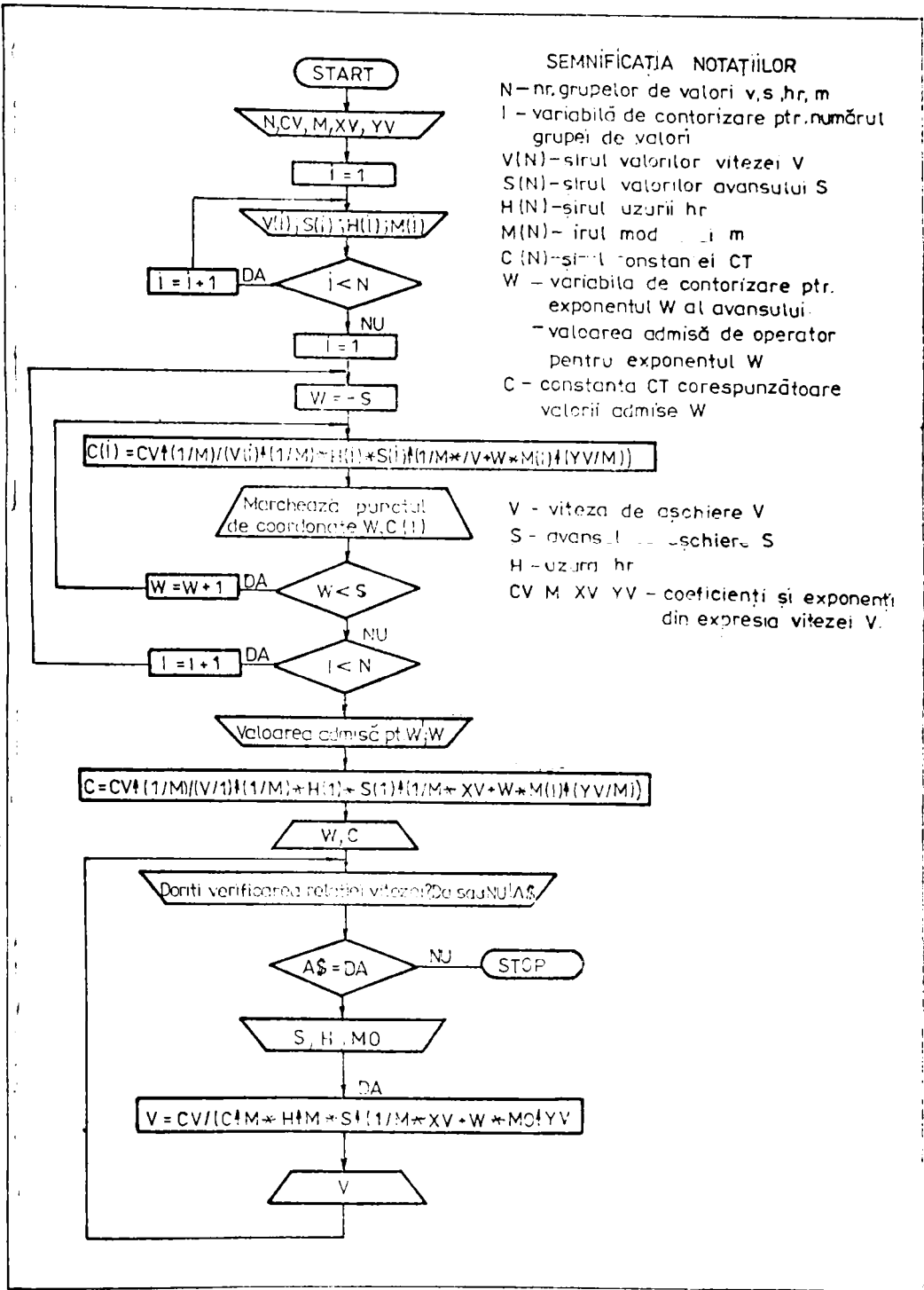


Fig.6.16. Schema logică de calcul a vitezei de așchiere

h_r , s, m.

Pentru programul de calcul astfel stabilit s-au făcut determinări pentru stabilirea valorii constantei C_T și a exponentului w , prin introducerea datelor tehnologice reale de lucru h_r , s, m, diferențiat pentru cele două faze de lucru, intrare și ieșire. Valorile de lucru pentru h_r , s și m rezultă cu mare ușurință din diagramele de variație a uzurii prezentate în figurile 6.5., 6.6., 6.7., 6.8., 6.9., 6.10., pentru CT în CAV cu Pax. De fapt, în mod concret din aceste diagrame rezultă care sînt limitele realiste ale lui h_r , pentru fiecare zonă a intrării și a ieșirii, corespunzător avansului s_a , instalat și controlat prin CA. Pînă la modul $m = 6$ mm, relația de calcul a lui v_{a3} nu este influențată de acesta, deoarece $y_v = 0$. Deci, se poate considera că în această gamă de module valorile lui h_r , stabilite ca mai sus, nu depind de valoarea modului RDC de prelucrat pe MDFMC.

În acest mod, se poate afirma că s-a făcut de fapt o prelucrare matematică a volumului mare de informații obținute pe parcursul cercetărilor, pentru CT în CAV cu Pax (din motivele prezentate în text) prelucrare care nu poate fi posibilă decît cu ajutorul calculatorului, luînd în considerare complexitatea fenomenelor specifice cercetării în domeniul aşchierii. Complexitatea algoritmului de calcul este de ordin tehnologic, deoarece în acest caz pentru stabilirea relației de calcul a v_{a3} , nu se mai aplică regula cunoscută, -un factor variabil și ceilalți constanți - dimpotrivă pentru diferite zone ale procesului tranzitoriu specific danturării RDC, se fac în mod distinct calcule pentru v_{a3} . Aceste calcule nu ar fi fost posibile fără o bază tehnologică realită, privind valorile limită pentru h_r și intervalele de valori ale lui s_a , instalate prin CA.

Este foarte important faptul că se stabilesc relații de calcul, pentru un CT care s-a dovedit cel mai bun din punct de vedere al durabilității FMC și preciziei piesei prelucrate, mai ales în condițiile în care pentru o CPF, conceptul vechi al durabilității FMC (între două reascuțiri), numai poate satisface nici pe departe cerințele tehnologice și economice ale unui asemenea sistem de prelucrare a RDC.

În urma rulării programului, utilizînd baza tehnologică stabilită pe parcursul tezei, s-au putut determina valorile constantei CT și exponentului w din relația 4, diferențiat pentru faza de intrare și ieșire a FMC din aşchiere, care au permis rezolvarea relației 2 și stabilirea formulelor de calcul pentru v_{a3} după cum urmează:

CT în CAV cu Pax:

$$\text{INTRARE } v_{a\dot{s}} = 7,54/h_r^{0,33} \cdot s_a^{0,059} \cdot m^{y_v} \quad [\text{m/min}] \quad (4)$$

$$\text{IESIRE } v_{a\dot{s}} = 3,37/h_r^{0,33} \cdot s_a^{-0,66} \cdot m^{y_v} \quad [\text{m/min}] \quad (5)$$

în care:

h_r - valoarea limită a uzurii radiale, pe zone ale fazei de intrare și de ieșire, în mm;

s_a - avansul axial de lucru, stabilit prin CA, corelat cu h_r , în mm pe rotație;

m - modulul RDC de prelucrat, în mm;

y_v - exponent al modului sculei;

Dacă se analizează relațiile de calcul pentru cele două $v_{a\dot{s}}$, stabilite pentru intrare și ieșire, se poate deduce cu ușurință că forma finală a acestora este de fapt "tehnologică" și că acestea nu reprezintă o problemă pentru calculatorul propriu al MDPMC cu CA din CFF, la care deja se lucrează în colectivul de MU al catedrei T.C.M. din I.P. "Traian Vuia" Timișoara.

Cu alte cuvinte exprimarea relației de calcul se face pentru parametri tehnologici h_r și s_a care de fapt sînt oricum și "economici" și care se pot considera că reprezintă cel mai bine un mod de exprimare realist pentru o relație a $v_{a\dot{s}}$ în regim tranzitoriu în condițiile unei CA și a vitezei de aşchiere.

6.4. Verificări și recomandări

În vederea verificării funcțiilor matematice stabilite pentru $v_{a\dot{s}}$ funcție de variația uzurii h_r și a avansului s_a , instalat prin CA, s-a trecut la un alt grup de experimentări în care s-au admis parametri tehnologici cu valori diferite, pentru cunoașterea modului în care se poate extinde valabilitatea relațiilor determinate. În primul rînd s-a adoptat un modul diferit, cu caracteristici geometrice diferite pentru RDC și FMC, dar aceiași MDPMC cu CA a avansului.

Așa cum s-a precizat în paragraful 6.1., MDPMC cu CA a avansului are posibilitatea corelării valorilor parametrilor aşchierii, respectiv a turației n (deci $v_{a\dot{s}}$) introduse în calculatorul propriu al CA a avansului, cu turația reală de lucru, prin variatorul mișcării principale (deci $v_{a\dot{s}}$), prin comanda suficient de rapidă din mers și sub sarcină. Aceste precizări sînt importante deoarece, MDPMC cu CA a avansului nu dispune pînă în prezent de posibilitatea de a realiza automat operații de acest fel. De fapt, tocmai acest lucru constituie obiectul

contractului cu I.M.Cugir, adică realizarea soluției și pentru CA a vitezei. În acest mod se poate asigura instalarea vitezei de aşchiere cu valorile calculate după relațiile 4 și 5, corespunzător poziției FMC față de golul dintelui (fig.6.3. și 6.4.), și valoarea avansului s_a , determinat în mod continuu cu sistemele de lucru ale MDFMC, (sau față de poziția unghiulară a RDC, sau numărul de rotații efectuate de aceasta.

Pentru verificarea relațiilor v_{as} , s-au prelucrat RDC cu datele prezentate în figura 6.17., în loturi de 5 piese, pentru care s-a adoptat v_{as} corespunzător datelor geometrice și tehnologice ale prelucrării, determinate cu relațiile 4 și 5 din paragraful 6.3. și prezentate în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1.

Lot piese	h_r limită lot /mm/	s_{ref} /mm/rot/	$s_{AI/AE}$ /mm/rot/	Viteze de aşchiere					
				INTRARE /m/min/			IESIRE /m/min/		
				AI	BI	CI	AE	BE	CE
1	0,010	2,5	5,3	46	40	34	46	40	34
2	0,020	2,5	5,3	37	30	27	37	30	27
3	0,014	2,5	5,3	42	36	30	42	36	30
4	0,012	2,5	5,3	44	38	32	44	33	32

În figura 6.17., este prezentată evoluția uzurii h_r , pentru uzura măsurată (h_{rm}) și cea cumulată (h_{rc}), în scopul punerii în evidență, mai bine a

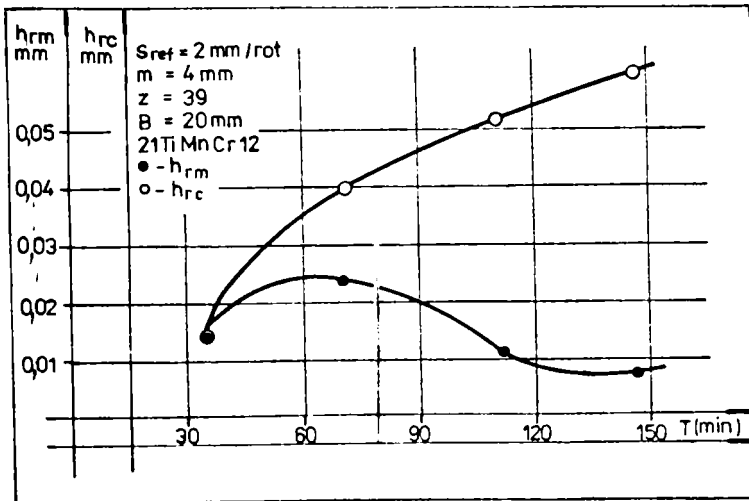


Fig.6.17.Variația uzurii h_r , CT în CAV cu Paz

De asemenea, pentru s_a , s-au introdus valorile stabilite prin obser-

tență, mai bine a variației acestora în timp, pentru valori ale v_{as} calculate de fapt cu relațiile 4 și 5 și prezentate în tabelul 6.1. În calculul vitezelor de aşchiere prezentate în tabelul 6.1. s-au introdus valori ale lui h_r considerate ca limită și acceptate pe baza cercetărilor efectuate anterior.

varea modului de lucru al CA, pentru fiecare zonă A,B,C, a fazei de lucru, de fapt CA stabilește și afixează în mod continuu valorile respective pentru s_a . De asemenea, se precizează faptul că rezultatele măsurărilor sînt prezentate pentru danturarea integrală a RDC și efectuate pentru FMC după prelucrarea fiecărui lot de RDC. Dacă se analizează uzura h_{rm} , se constată o comportare foarte bună a FMC din punctul de vedere al durabilității acesteia, deoarece așa după cum se vede din figura 6.17., după 150 minute, valoarea măsurată a uzurii h_{rm} este foarte bună, respectiv $< 0,01$ mm, iar h_{rc} măsurată după același timp al prelucrării a rezultat de $0,06$ mm, valoare care nu impune încă, compensarea în direcție radială a uzurii sculei, deoarece este vorba despre CFF Tip 1.

Variația uzurii - h_{rm} , arată o creștere accentuată a acesteia la prelucrarea primelor RDC din lot, pentru ca apoi să se înregistreze o scădere a acesteia, fapt care dacă se corelează cu precizia prelucrării și creșterea capacității de producție (n_{pp}), constituie avantaje economice deosebite pentru cazul prelucrării RDC cu MDFMC cu CA a avansului și cu "CA a vitezei", comandă efectuată deocamdată la aceste experimente în mod manual. Este important de precizat că MDFMC cu CA și a vitezei va putea furniza informații foarte exacte privind valoarea lui s_a în orice moment al danturării, valori pe care le poate introduce în calculatorul propriu și astfel le va corela cu limitele stabilite pentru h_r , (de exemplu funcție de numărul de rotații efectuate de RDC de prelucrat). În acest mod de fapt calculatorul propriu CA, va putea calcula v_{a3} care să satisfacă cele mai înalte exigențe impuse de fapt de o CFF.

Pentru a stabili dacă rezultatele prelucrării RDC cu v_{a3} va-

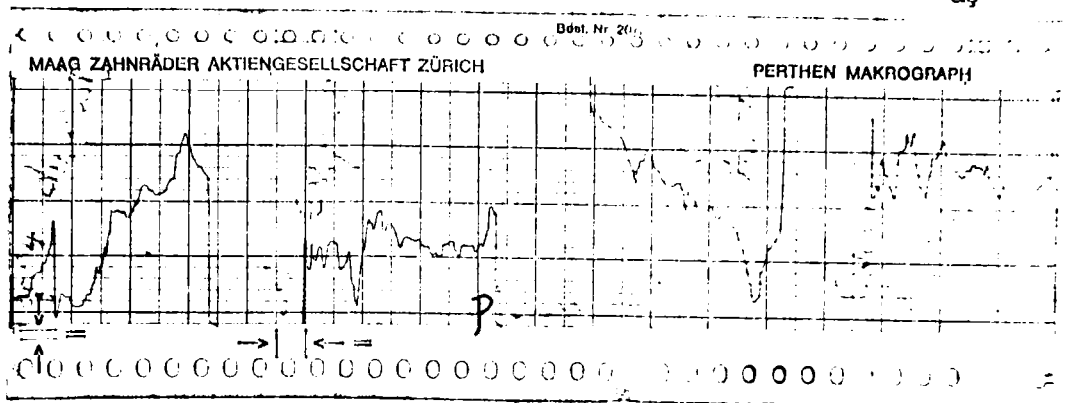


Fig.6.18.a.Variația lui f_{fr} și $F_{Br,CT}$ în CAV,Pax,Tip 1

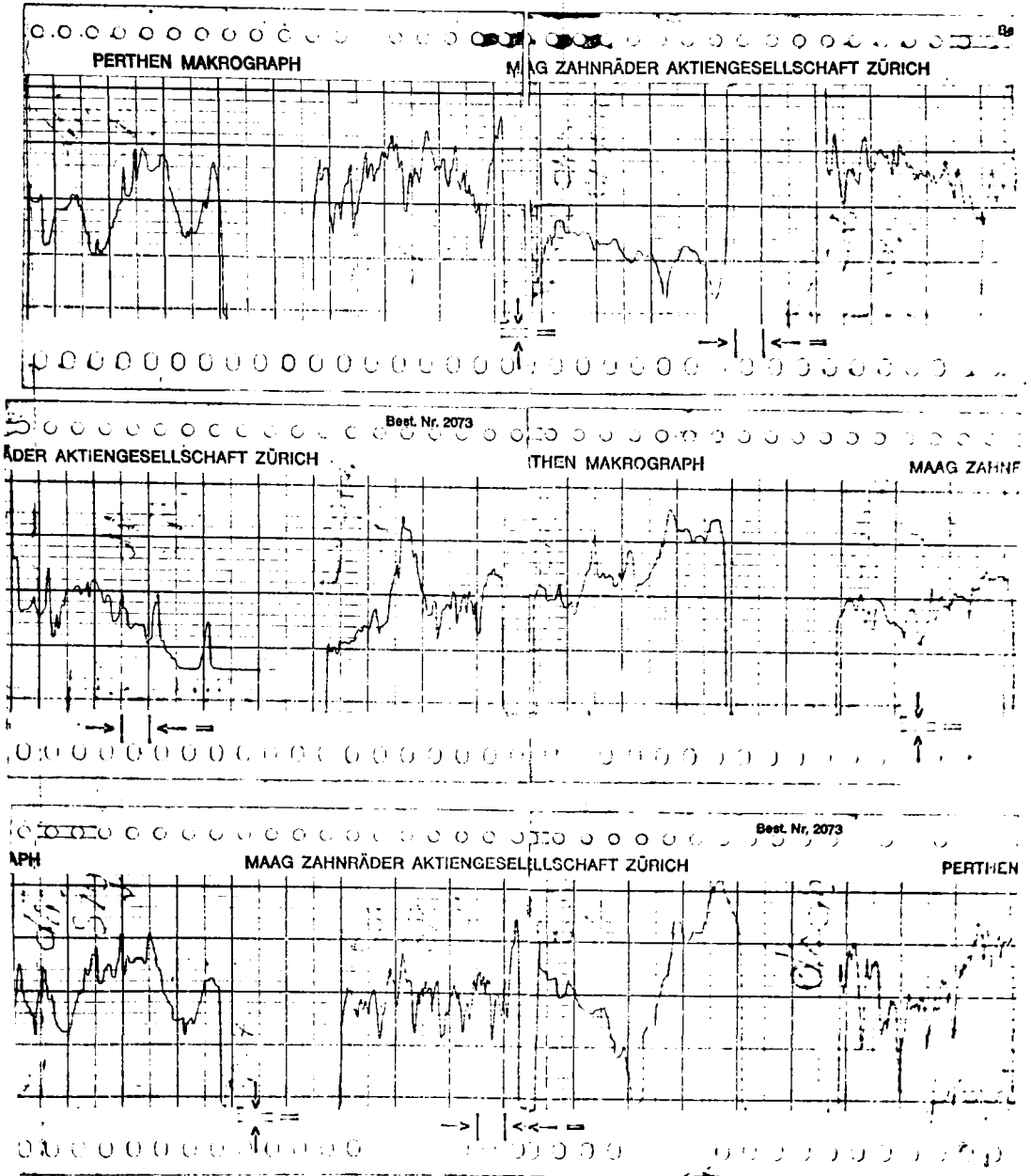


Fig.6.18.b.Variația lui f_{fr} și $F_{\beta r}$, CT în CAV, Pax, Tip 1

riabilă în trepte, sînt corespunzătoare unei CFP, este necesară și o analiză a preciziei prelucrării RDC. În figura 6.18.a și b, sînt prezentate rezultatele privind precizia prelucrării RDC exprimată prin abaterea f_{fr} și $F_{\beta r}$. Așa cum se observă din figură, dacă se compară

rezultatele privind precizia prelucrării, de exemplu pentru flancul stîng al dintelui, se constată o corespundență între evoluția uzurii h_{rm} și precizia prelucrării. Astfel, pentru primele două loturi de piese h_{rm} este mai mare și în consecință și abaterile f_{pr} și F_r sînt mai accentuate, în vreme ce în spre lotul 3 și 4 de piese, se remarcă o stabilizare a acestora, îndeosebi în lotul 4.

Aceleași observații pot fi făcute și pentru flancul drept, la care așa cum se vede, abaterea $F_{\beta r}$ este mai accentuată pentru primul lot de piese, cu aspect mai bun sau chiar foarte bun pentru lotul 3 de piese pentru ambele abateri.

Luînd în considerare modulul mare al F_{MC} , față de condițiile inițiale ale cercetării și mai ales instalarea manuală a CA a v_{ag} , rezultatele obținute se pot aprecia ca fiind foarte bune privind verificarea relațiilor de calcul a v_{ag} (stabilite), din toate punctele de vedere îndeosebi cel al creșterii capacității de producție, numai dacă ne referim la faptul că în 120 minute au fost danturate 20 RDC, care în mod obișnuit s-ar fi danturat în cel puțin 480 minute, dacă s-ar fi aplicat datele tehnologice prevăzute în fișa tehnologică a RDC, pentru reperul dat, în condițiile danturării fără CA.

Datele obținute pentru uzura h_{rc} , prin măsurare după prelucrare cu viteze diferite pe zonele A, B, C, prezentate în tabelul 6.1. și calculate conform relațiilor din paragraful 6.3., au fost apoi comparate valorile uzurilor (limitate pe zone), cu care s-au determinat de fapt aceste viteze. Valorile considerate ca limite s-au introdus în relațiile 4 și 5 cu care s-au calculat vitezele de așchiere, instalate apoi prin comanda manuală pe mașină. Este evident că dacă uzurile determinate prin măsurare, corespund practic cu cele introduse în rela-

Tabelul 6.2.

Lot se	pie- se	h_r limi- tă lot /mm/	s_{ref} mm/rot	s_a AI/AE /mm/rot/	v_{ag} AI/AE m/min calcul.	h_{rm} /mm/	h_{rc} /mm /
1		0,010	2,5	5,3	46	0,016	0,016
2		0,020	2,5	5,3	37	0,024	0,040
3		0,014	2,5	5,3	42	0,012	0,052
4		0,012	2,5	5,3	44	0,008	0,060

țiile 4 și 5 cu care s-au calculat vitezele de așchiere instalate apoi prin comanda manuală pe mașină. Este evident că dacă uzurile determinate

... v_{a3} AI pentru faza inferioară, v_{a3} AE pentru faza superioară, corespunzătoare ultimile sînt corespunzătoare și justifică valabilitatea relațiilor de calcul 4 și 5, a v_{a3} . Într-adevăr, corespondența practică a acestora se observă clar din tabelul 6.2., cînd așa cum s-a apreciat pentru lotul 1 și 2 de piese (h_p cu valori ușor superioare), față de lotul 3 și 4, s-au obținut valori ale lui h_{pm} și h_{pe} superioare în condițiile începutului prelucrărilor. Se remarcă de asemenea, în același context, din analiza diagramelor figurii 6.16. a și b, că precizia piesei, obținute în condițiile schimbării vitezelor de aşchiere pe soae, este în limitele STAS corespunzătoare clasei de precizie cerute, obținut în limitele unei sutimi și maxim a 3 sutimi de mm. Se poate menționa însă, că aceste precizii la CT în cauză (Tip 1), nici nu sînt necesare, deoarece RDC danturate și măsurate, necesită astfel de verificări numai după rectificarea. Se mai observă că eventualele virfuri ale unor diagrame se pot aprecia că sînt datorate momentului de intervenție manuală la schimbarea vitezelor, moment care nu s-a putut reține pe circumferința roții, dar a fost posibilă o coincidență între acesta și locul de măsurare a danturării. Se poate presupune că la comanda adaptivă (deci automat), a vitezei, astfel de virfuri nu vor mai apare.

Reconsiderînd datele experimentale de pe întreg parcursul tezei, se pot face cîteva recomandări privind corelația între valorile lui v_{a3} (care se calculează, cu relațiile stabilite), valorile lui h_p și s_{ref} la un moment dat, cu observația că limita zonelor A, B, C, se pot

Tabelul 6.3.

Faza	Modul	$h_p/10$	$h_p/20$	$h_p/30$	s_{ref}	v_{a3}	v_{a3}	v_{a3}	
INERARE I	m				mm/	10 p	20 p	30 p	
INERARE E	/mm/				rot	/m /min/			
I	AI	plan	0,003	0,010	0,015	5	35	32	30
	BI	la	0,010	0,014	0,020	4	32	29	26
	CI	modul	0,014	0,020	0,025	3	30	26	23
E	CE	$n=6$	0,016	0,023	0,028	3	27	25	23
	BE		0,018	0,025	0,030	4	32	29	27
	AE		0,020	0,030	0,035	5	35	31	30

te stabili (ca de altfel toate datele), prin intermediul calculatorului propriu MATHC cu CI din 197, care sînt prezentate în tabelul 6.3. Așa cum se remarcă (din tabelul 6.3.), creșterea sau descreșterea lui v_{a3} , pentru diferitele zone sau h_p , este în limitele tehnologice,

adică nu se obțin creșteri și descrescături care să dea sălturi mari, de ar complica chiar sistemul de alegere al turajului - n , prin intermediul variatorului de turaj.

Este demn de reamintit simplitatea relugiilor stabilite, care pot realiza cu ajutorul calculatorului (propriu MDPNC) toate situațiile posibile de întîlnit privind evoluția lui n_p și s_p pe MDPNC, cu CA. Limițele propuse în tabelul 6.3., pentru n_p sînt corespunzătoare datelor stabilite în prezenta teză, în urma cercetării experimentale și reevaluate pentru n_{pp} în loturi de 10 piese. De fapt dacă se acceptă abateri pentru n_p , în limitele cunoscute, relațiile lui v_{og} , (stabilite în teză), nu dau sălturi așa cum s-a mai spus, de altfel în paragraful 6.5. se vor face propuneri privind forma lui v_{og} , funcție de n_p , care poate fi o referință pentru CA și a vitezei de v_{og} - chiere.

6.5. Viteza economică

Din analiza considerațiilor referitoare la situație optimizării la danturarea cu FMC, prezentate în paragraful 3.3., rezultă că și în condițiile danturării RBC pe MDPNC, s-a stabilit costul muncii și operației (sau capacitătea de producție maximă) înseamnă a determina de fapt durabilitatea economică.

Însă, indiferent de modul de soluționare al problemei, durabilitatea economică - F_{og} , se exprimă pînă în prezent prin relația sau valori determinate după procedeele clasice, care nu iau în considerare aspectele concrete ale danturării cu FMC, precizate în paragraful 2.1. și 2.2. În acest sens, se poate considera că în prezenta teză s-au găsit modalități de exprimare a durabilității FMC, care poate deveni economică, în condițiile în care factorii determinanți ai acesteia sînt exprimați în consecință.

În /13/, se fac referiri și determinări legate de procesul optim la danturarea cu FMC, pentru CA, stabilindu-se expresiile lui F_{max} , F_{tmax} , M_{tmax} și P_{og} , expresii care servesc la stabilirea algoritmului conducerii cu CA a v. usului a MDPNC, care de altfel așa cum s-a spus, s-a și realizat în I.M. Cugir.

În ceea ce privește v_{og} , s-au făcut pe larg precizările impuse de noile concete ale uzurii, în paragraful 3.1. și 3.2., din care rezultă că de fapt v_{og} este economică, dacă corespunde unei combinații (v, s, t) , pentru care uzura FMC este minimă, care uzură va trebui să stea de fapt la baza stabilirii limitelor de referință pentru CA a MDPNC, este important de precizat că este verificată /13/, necesitatea condițiilor în procesul optimizării - mai întri

/18/, după cum urmează:

$$s_F = F_{\text{tref}} \cdot \frac{1}{x_V} \cdot v_{a\dot{s}} \cdot \left[C_F(a, z_p, m, \beta, i) \cdot t^{\gamma} \right]^{-1/x_V} \quad [\text{mm/rot}] \quad (6)$$

relația care satisface condițiile sau restricțiile STE, în care:

- F_{tref} - Forța tangențială de referință rezultată din condițiile STE, în daN;
- $v_{a\dot{s}}$ - viteza de așchiere, în m/min;
- C_F - coeficient al forței de așchiere tangențială;
- a - coeficient al materialului de prelucrat;
- z_p - numărul de dinți ai RDC de prelucrat;
- m - modulul RDC de prelucrat, în mm;
- β - unghiul de înclinare al dinților RDC;
- i - numărul de începături la FMC;
- t - factorul de poziționare, care dă poziția FMC față de adâncimea de pătrundere, după caz definește implicit adâncimea de pătrundere (la CT Tip 2);
- x_V - coeficient al avansului pentru calculul $v_{a\dot{s}}$;
- δ - coeficient al condiției regimurilor de rezonanță;
- γ - coeficient al factorului de poziționare.

Toate aceste date pot fi introduse relativ ușor în calculul propriu al MDFMC cu CA a avansului existent în I.M.Cușin. Pentru această fază a construcției MDFMC, $v_{a\dot{s}}$ din relația 6, se introduce cu o valoare constantă (n_{ap}), specifică datelor de prelucrare.

Dacă în relația 4, se va explicita s_u , se poate stabili relația lui v_{ec} , pentru faza de intrare și ieșire.

În acest mod, din relația 4, a $v_{a\dot{s}}$, (pentru faza de intrare) rezultă:

$$s_u = 7,54^{17} \cdot n_r^{-5,59} \cdot v_{a\dot{s}}^{-17} \cdot m^{-17\gamma} \quad [\text{mm/rot}] \quad (7)$$

Dacă s_u , astfel determinat se introduce în relația 6, și se explicitază $v_{a\dot{s}}$ se obține relația lui v_{ec} pentru faza de intrare, în următoarea formă:

$$v_{ecI} = \frac{7,54^{17/17+p} \left[C_F(a, z_p, m, \beta, i) \cdot t^{\gamma} \right]^{p/17+p}}{F_{\text{tref}}^{p/17+p} \cdot n_r^{5,59/17+p} \cdot m^{17\gamma/17+p}} \quad [\text{m/min}] \quad (8)$$

După cum se vede, așa cum era și firesc în această relație s_2 nu este precizat, deoarece așa cum s-a mai spus, pentru valoarea lui s_2 stabilit prin calculator, corespunzător zonei A, B, C, se va calcula automat v_{cc} pentru F_t la acel moment. Se reține apoi că de fapt F_{tref} conține implicit valoarea avansului în acel moment.

Procedând în același mod se poate determina relația lui v_{ccE} pentru faza de ieșire, redată în relația de mai jos:

$$v_{ccE} = \frac{3,37 \cdot \left[C_p (z, z_p, m, \beta, i) \cdot \gamma^{1-p/1,5-p} \right]}{F_{tref}^{-0,66} \cdot h_r^{0,5/1,5-p} \cdot m^{1,5\sqrt{1,5-p}}} \quad [m/min] \quad (9)$$

Semnificațiile notațiilor sînt aceleași pentru ambele relații, și nume corespund cu cele de la relațiile 4,5,6, cu precizarea că s-a făcut notarea $1/x_v = p$.

Valorile date de relațiile 8 și 9, sînt de fapt referințe pentru cele două faze de intrare și ieșire, de altfel s-ar putea ca puterea disponibilă a MDFMC să fie suficientă, adică:

$$v_{cc} \cdot F_{tref} = P_{agref} - P_{AP} = M_{tref} \cdot 2 \cdot n_{AP} \quad (10)$$

$$v_{cc} \leq \frac{M_{tref}}{F_{tref}} \cdot 2 \cdot n_{AP} \quad (11)$$

unde:

- P_{agref} - puterea de așchiere de referință, în kW ;
- P_{AP} - puterea de așchiere la arborele principal, în kW ;
- M_{tref} - momentul de torsiune de referință, în daNm ;
- n_{AP} - turația la arborele principal .

Dacă însă relațiile 10 și 11 nu sînt satisfăcute, atunci se reduce n_{AP} și se va instala o $v_{ag} < v_{cc}$, astfel ca restricția de moment sau de putere să fie respectată.

Relațiile stabilite pentru v_{ccI} și v_{ccE} , sînt mai realiste decît cele din paragraful 2.3. (relația 2.3.14.), care pe lângă un grad ridicat de complexitate, impun corecția cu un coeficient care ține cont de aprecieri pur geometrice privind faza de intrare sau ieșire. De asemenea, veridicitatea relațiilor pentru cele două faze de intrare și ieșire constă și în faptul că acestea țin cont de toți parametri tehnologici și geometrici ai așturării și se stabi-

lesc de fapt în mod realist valori ale lui v_{cc} , pentru combinații de
lui s și t corespunzătoare momentului concret al prelucrării asistate
de CA.

În concluzie se poate aprecia că s-a reușit pentru CT în CAV
cu Pax investigarea completă a acestuia și stabilirea tuturor detaliilor
de calcul și verificare a conducerii unei RDEMC din CFP cu CA și a vi
tezei de deschidere în condițiile unei CA a avansului existente .

7. CONTRIBUTII ORIGINALE SI CONCLUZII GENERALE

1. Pe plan mondial cît și la noi în țară, se desfășoară cercetări intense în direcția realizării unor mașini-unelte cu comandă adaptivă cît și a introducerii acestora în celule flexibile și linii de fabricație, care s-au dovedit ca cele mai bune soluții de automatizare în vederea creșterii capacităților de producție, concomitent cu reducerea costurilor de fabricație și creșterea calității produselor prelucrate, la producția de serie mică și industrială.

2. În majoritatea lor aceste cercetări, pentru anumite tipuri de mașini-unelte și în special cele realizate de către colectivul disciplinelor de mașini-unelte al catedrei TOM din IPTVT, sub conducerea și cu participarea directă a profesorului dr.ing. Dodon Eugen, pot fi apreciate ca fiind de nivel științific superior și cu aplicabilitate imediată în industrie.

Indiferent de soluția sistemului de comandă adaptivă, procesul conducerii cu comandă adaptivă (CA), a mașinii-unelte prezintă câteva aspecte specifice, relativ complexe. Astfel, indiferent de nivelul de evoluție al sistemului de comandă adaptivă (SCA), în toate cazurile de prelucrare prin așchiere, este foarte important să se poată exprima relațiile vitezei de așchiere funcție de valoarea uzurii sculei și preciziei prelucrării, pentru un anumit moment al prelucrării, bine determinat.

3. Problema cunoașterii legilor uzurii s-a pus și se pune practic din totdeauna, dar modul în care au fost orientate cercetările din prezenta teză și modalitatea exprimării acestor legi în conținutul relațiilor vitezei de așchiere pentru diferitele momente ale poziției frezei-melc cilindrice (FMC), față de semifabricat, constituie o noutate absolută, mai ales pentru o mașină de danturat cu comandă adaptivă a avansului, care prezintă în acest sens o soluție aparte chiar pe plan mondial.

4. Prin cunoașterea legilor uzurii frezei-melc și a aspectelor legate de precizia prelucrării, în condițiile mașinii de danturat cu freză-melc cilindrică cu comandă adaptivă a avansului, s-a urmărit stabilirea relațiilor de calcul a vitezei de așchiere și a vitezei economice, funcție de aceste legi, în direcția realizării mașinii-unelte cu comandă adaptivă și a vitezei, problema abordată de colectivul de mașini-unelte din catedra TOM, a IPTVT, în scopul creșterii capa-

cității de producție a mașinii-unelte, a calității prelucrării în condițiile durabilității maxime a frezei-melc cilindrice.

5. În teză, se prezintă încă de la început importanța introducerii mașinilor-unelte cu comandă adaptivă, întrucât în condițiile celulelor flexibile și a liniilor de fabricație, cu precizarea standardului dezvoltării acestora la noi în țară cât și pe plan mondial.

6. Problemele specifice ale introducerii comenzii adaptive pe mașini de danturat cu freză-melc cilindrică, sunt clarificate în condițiile regimului tranzitoriu, care are un caracter aparte și specific la danturarea cu freza-melc cilindrică. În acest context sunt precizate de fapt obiectivele prezentei lucrări și anume:

- stabilirea legăturii între datele din proces (v, s, t) pentru un material dat și evoluția uzurii frezei-melc cilindrice în condițiile comenzii adaptive a avansului, existentă pe mașina produsă de I.M. Cugir;

- studiul influenței variației vitezei de așchiere asupra uzurii frezei-melc cilindrice, în regim tranzitoriu pentru sistemul de comandă adaptivă a avansului existent pe mașina-uncaltă;

- studiul influenței variației vitezei de așchiere pentru timpul de comandă adaptivă a avansului existent, asupra preciziei piesei la danturare;

- stabilirea relațiilor de calcul pentru viteza de așchiere în diverse cazuri de danturare pe mașina-uncaltă cu comandă adaptivă a avansului.

7. Prin analiza ciclurilor tehnologice posibile de instalat pe mașina de danturat cu freză-melc cilindrică, s-au evidențiat și clarificat condițiile specifice ale danturării pentru fiecare ciclu tehnologic în parte. De asemenea, prin analiza profundă a influenței valorilor parametrilor așchierii în condițiile fiecărui ciclu tehnologic, s-au evidențiat deosebirile esențiale ale aplicării acestuia în condițiile comenzii adaptive, care constituie de fapt baza reală a cercetărilor din teză. Aceste constatări justifică încă odată în plus necesitatea cunoașterii evoluției uzurii sculei și a preciziei prelucrării în condițiile diferitelor cicluri tehnologice aplicate pe mașina-uncaltă. Mai mult chiar, analiza riguroasă a acestor cicluri tehnologice clarifică din punct de vedere tehnologic și economic, care dintre acestea poate fi considerat pentru un caz dat al danturării, ca cel mai bine de aplicat în condițiile comenzii adaptive a mașinii-unelte.

8. S-au analizat câteva dintre criteriile de optimizare la danturarea cu freza-melc cilindrică. așa cum sînt ele prezentate în literatura de specialitate și care de fapt cel mai adesea stau la baza stabilirii algoritmului conducătorii cu comandă adaptivă a mașinii-unelte. Se evidențiază din această analiză limitele economice și tehnologice ale aplicării acestor criterii.

În concret a rezultat că stabilirea avansului trebuie să fie bazată pe încărcarea maximă admisibilă așa cum este cazul sistemului de comandă adaptivă produs actualmente de I.M.Cugir. Pentru viteza de așchiere trebuie stabilită inderpendențele între parametri așchierii, durabilitatea frezei-melc cilindrice și precizia piesei prelucrate, interdependențe care pînă în prezent nu sînt cunoscute pe plan mondial în condițiile danturării cu comandă adaptivă.

9. În lucrare se tratează pentru prima dată, în mod complex aspecte legate de conceptul nou al durabilității și uzurii frezei-melc cilindrice. Se analizează cu profunzime, diferitele moduri de exprimare a limitelor uzurii, a durabilității frezei-melc cilindrice, punându-se în evidență modalitățile de exprimare și analiză a acestora în condițiile comenzii adaptive a mașinii-unelte.

Se poate considera că s-a reușit pentru prima dată o sinteză și aprofundare a metodelor celor mai potrivite de exprimare a influenței evoluției uzurii frezei-melc cilindrice în condițiile automatizării proceselor de producție. De fapt, s-au clarificat în acest fel și verificat pe parcursul tezei căile cele mai științifice de analiză a evoluției uzurii frezei-melc cilindrice, cum ar fi: viteza uzurii măsurate, uzura funcție de numărul de piese prelucrate și uzura specifică a frezei-melc cilindrice.

10. Plecînd de la necesitatea cunoașterii riguroase a evoluției uzurii frezei-melc cilindrice, în condițiile unei cercetări de specialitate, s-au analizat și prezentat câteva dintre metodele și mijloacele de măsurare cunoscute, a uzurii. Ca urmare, a acestei analize se poate aprecia ca o contribuție semnificativă elaborarea unui aparat specific controlului uzurii frezei-melc cilindrice, care întrunește de fapt condițiile unei noutăți în domeniu, motiv pentru care s-a făcut și o propunere de invenție în acest sens.

11. În cuprinsul tezei un loc important ca extindere și mai ales ca și conținut îl ocupă prezentarea și analizarea rezultatelor experimentale proprii, privind evoluția uzurii frezei-melc cilindrice și a preciziei roților dințate cilindrice prelucrate.

12. Rezultatele complexe și volumul mare al cercetărilor efectuate, elementele de originalitate, atât ca metodica cercetării cât și ca referire pentru prima dată în literatura de specialitate la danturarea cu freza-melc cilindrică în condițiile comenzii adaptive, sînt cu tributii importante în direcția stabilirii bazelor tehnologice de calcul a vitezei de așchiere.

13. S-au efectuat de fapt în aceleași condiții tehnologice și în paralel cercetări pentru toate ciclurile tehnologice posibile de instalat pe mașina de danturat cu freză-melc cilindrică, legat și de precizia prelucrării roților dințate cilindrice. De remarcat, ca de altfel și pentru cazul determinărilor de durabilitate a frezei -melc, că și în condițiile cercetărilor de precizie, acestea s-au făcut pentru modul de lucru cu comandă adaptivă a avansului existent la mașina de danturat, comparativ cu modul de lucru fără comandă adaptivă, evident în toate cazurile în condițiile industriale ale prelucrărilor în I.M. Cugir.

14. S-au stabilit relațiile vitezei de așchiere și ale vitezei economice necunoscute pînă în prezent în literatura de specialitate, în condițiile danturării pe mașina-unealtă cu comandă adaptivă a avansului. Relațiile stabilite sînt de fapt algoritmi ai comenzii adaptive și a vitezei de așchiere, care constituie un obiectiv al contractului de cercetare cu I.M.Cugir, în vederea realizării de către colectivul de mașini unelte din IPTVT, a soluției constructive pentru comanda adaptivă și a vitezei de așchiere.

15. Relațiile vitezei de așchiere, sînt stabilite pe baza cercetărilor de uzură a frezei-melc cilindrice și precizie a prelucrării în condițiile regimului tranzitoriu aplicat prin comanda adaptivă a avansului existentă pe mașina de danturat cu freză-melc cilindrică în I.M.Cugir.

16. Relațiile stabilite deși complexe, ca și conținut, au o formă de prezentare accesibilă aplicării în condițiile conducerii cu comandă adaptivă a mașinii-unelte. De remarcat, că în vederea stabilirii formei finale a acestora, pentru prelucrarea volumului mare de informații s-au utilizat mijloace de calcul automat, moderne, prezentate de altfel în teză.

Plecînd de la analiza materialului experimental, se prezintă în continuare concluziile generale referitoare la durabilitatea frezei melc cilindrice și a preciziei prelucrării roților dințate cilindrice.

1. În condițiile danturării pe mașina-unealtă cu comandă adap-

tivă a avansului, datorită originalității sistemului, realizat de colectivul de mașini-unelte din IPVT, sub îndrumarea Profesorului doctor inginer Dodon Eugen, se poate preciza că schimbarea dimensiunilor așchii la faza de intrare sau ieșire a sculei din așchiere, conduce la menținerea timp mai îndelungat a unei încălcări practic constante. Schimbarea mărimii avansului prin comanda adaptivă, conduce indiscutabil la un alt mod de desfășurare a legilor uzurii și a preciziei piesei prelucrate, mai ales în condițiile creșterii vitezei de așchiere.

În general, rezultatele obținute pentru evoluția uzurii sculei și a preciziei prelucrării sînt mai bune (cantitativ și calitativ) în condițiile creșterii vitezei de așchiere la funcționarea cu comanda adaptivă, comparativ cu danturarea fără comandă adaptivă, datorită unui alt mod de desfășurare a procesului tranzitoriu.

3. Rezultatele mai bune obținute pentru uzură și precizie în condițiile aplicării comenzii adaptive a avansului pentru un avans de referință mai mare, constituie avantaje economice deosebite la prelucrarea roților dințate cilindrice, mai ales la ciclurile tehnologice de Tip 1 (cu una trecere de degroșare), ca urmare a creșterii numărului de piese prelucrate cu aceeași sculă.

4. De asemenea, constituie un avantaj tehnologic și economic pentru danturarea cu comandă adaptivă și faptul că marea majoritate a ciclurilor tehnologice analizate, uzura radială h_r s-a impus drept limită a criteriului durabilității maxime, legat mai ales de faptul că această uzură impune reinstalări la cote a mașinii-unelte.

5. Rezultatele obținute pentru ciclul tehnologic în contra-avansului, în condițiile danturării cu comandă adaptivă, au confirmat afirmațiile făcute în literatura de specialitate, referitor la creșterea durabilității sculei, deoarece uzura frezei-mole cilindrice a fost mai redusă pentru acest ciclu tehnologic, comparativ cu cel în sensul avansului.

6. Aceste rezultate bune s-au obținut pentru același ciclu tehnologic în contra avansului și pentru precizia prelucrării roților dințate cilindrice. Trebuie de altfel remarcat că și aceste verificări făcute în condițiile precizate constituie o altă contribuție a prezentei teze.

7. Referitor, la viteza uzurii măsurate v_h , de asemenea s-au obținut rezultate mai bune în condițiile modului de lucru cu comandă adaptivă, mai ales legat de faptul că pentru aceleași viteze de aj-

chiere, valoarea absolută a lui v_h este inferioară modului de lucru fără comandă adaptivă.

8. În condițiile danturării cu comandă adaptivă pentru ciclul tehnologic în contra avansului cu pătrundere radială, s-au obținut rezultate favorabile acestui ciclu tehnologic, rezultate necunoscute pînă acuma în literatura de specialitate. Se impune, pe viitor o cercetare mai aprofundată a parametrilor danturării pentru acest ciclu tehnologic.

9. Rezultatele obținute pentru durabilitatea frezei-melc cilindrice și precizia prelucrării roților dințate, în condițiile aplicării vitezei de așchiere variabile continuu, au arătat clar că nu este nevoie de variația continuă a acesteia, fapt care simplifică mult soluția constructivă a mașinii-unelte, îndeosebi cerințele acționării principale.

10. Danturarea în condițiile aplicării ciclului tehnologic Tip 2 (cu a doua trecere, de finisare), a relevat de asemenea, rezultate foarte bune pentru uzura sculei și precizia prelucrării în condițiile comenzii adaptive. În concret cu comanda adaptivă a mașinii-unelte, rezultatele sînt net superioare în ceea ce privește precizia prelucrării, față de același ciclu cu degroșare fără comandă adaptivă, ceea ce rezultă ca logic în urma unei încărcări mai uniforme a STE la danturarea cu comandă adaptivă.

11. O concluzie importantă se poate aprecia, mai ales referitor la faptul că dintre toate ciclurile tehnologice analizate, cel în contra avansului cu pătrundere axială, reprezintă cel mai bun mod de lucru din punctul de vedere al dinamicii așchierii, al evoluției mai favorabile a uzurii sculei și al preciziei prelucrării.

12. Rezultatele obținute, în urma cercetărilor efectuate comparativ pentru cele două moduri de lucru ale mașinii-unelte (cu comanda adaptivă și fără) justifică dezvoltarea sistemului de comandă adaptivă mai ales în direcția introducerii acestuia și pentru viteza de așchiere.

13. Multiplele cercetări efectuate, constituie elemente de mare necesitate și noutate absolută în domeniul automatizării mașinii de danturat cu freză melc cilindrică, inclusiv și al succesului ei comercial. De asemenea, se constituie ca argumente științifice verificate practic și baze realiste tehnologice pentru domeniul comenzilor adaptive. Valoarea științifică și aplicativă a acestor rezultate este cu atât mai importantă cu cît ele se referă la o sculă

complexă a geometrie și la un procedeu de asemenea complex, mai ales în condițiile aplicării automatizării acestor procedee.

14. În toate cazurile analizate, condițiile cercetării exprimate prin parametri tehnologici ai aşchierii (v , s , t), au fost superioare cazurilor întâlnite în practica tehnologică, tocmai plecând de la necesitatea unor verificări complexe și de referință.

15. În ceea ce privește, relațiile de calcul stabilite pentru viteza de aşchiere și economică, diferențiat pentru faza de intrare și de ieșire a sculei din aşchiere, constituie o performanță tehnică, plecând de la originalitatea metodei practice, stabilite la încercări, cât și a contribuției importante în domeniu.

16. Relațiile stabilite constituie o bază pentru algoritmi de conducere a mașinii-unelte cu comandă adaptivă și a vitezei de aşchiere în condițiile comenzii adaptive a avansului existente și stau la baza soluțiilor constructive pentru mașina respectivă.

17. La baza stabilirii acestor relații, au stat condițiile reale ale aşchierii, exprimarea lor este făcută funcție de uzura frezei-melc și avansul de lucru, instalat și controlat permanent prin comandă adaptivă, funcție de care s-au stabilit aceste relații, în aceleași condiții ale danturării, dar cu respectarea în cazul vitezei economice a criteriului costului minim al prelucrării pentru soluția existentă a mașinii-unelte.

18. Formularea relațiilor vitezei economice s-a făcut plecând de la expresiile stabilite în teză pentru viteza de aşchiere, dar totodată cu respectarea restricțiilor de forță tangențială a prelucrării, impuse de soluția constructivă a mașinii-unelte cu comandă adaptivă a avansului, existentă, dar și de STE și precizia prelucrării.

19. Modul de lucru, rezultatele obținute pentru ciclurile tehnologice investigate, constituie o cale sigură în vederea dezvoltării ulterioare a cercetărilor pentru stabilirea relațiilor vitezei de aşchiere și economice, în condițiile ciclurilor tehnologice pentru care acestea nu au fost încă stabilite.

20. Aceste relații, ale vitezei economice, sînt referințe pentru faza de intrare și ieșire, considerîndu-se optimizarea mai întîi a avansului de lucru, stabilit prin CA. Ele devin operante prin calculatorul propriu al mașinii-unelte, funcție de valoarea puterii de aşchiere la un moment dat. Puterea de aşchiere include în mod continuu în ea și valoarea forței de aşchiere, deci și a avansului de lucru, funcție de care se va instala valoarea vitezei de

așchiere corespunzătoare deja limitei uzurii prevăzute pentru faza respectivă la danturare.

21. Întreaga lucrare a fost elaborată, ca parte experimentală în I.M.Cugir, fapt care constituie un argument al veridicității rezultatelor obținute și care a scurtat în mod evident drumul de la cercetare la aplicarea soluțiilor stabilite pentru comanda adaptivă și a vitezei de așchiere.

B I B L I O G R A F I E

CAPITOLUL 1

1. X X X - Directivile Congresului al XIII-lea al PCR, cu privire la dezvoltarea economico-socială a României, în cinci ani, anul 1966 - 1989
2. BOIALGIU, GH., DODON, E., și alții - Mașini-Unelte și agregate. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1978
3. GROSU, F., I., - Comanda adaptivă a avansului la mașina de găurit. Teză de doctorat. Conducător științific Prof.dr.ing.Dodon E. IPVT, 1985
4. CAVRILAS, I., și alții - Tehnologia de fabricație a roților dinate pe mașini-unelte clasice și cu comandă program. Editura Tehnică, București, 1983
5. GANEA, M., - Probleme ale comenzii adaptive a vitezei la mașini de găurit și centre de prelucrare. Teză de doctorat. Conducător științific Prof.dr.ing.Dodon E., IPVT, 1985
6. KORITIN, A., M., - Optimizarea upravlenia metallorezeshi stankami. Mașinostroenie, Moskva, 1974
7. KOLEV, K., C., și alții - Tachnostii obrabotki i regim rezaniia. Mașinostroenie, Moskva, 1978
8. MINCIU, C., - Precizia și controlul angrenajelor. Editura Tehnică, București, 1984
9. SPINEANU, U., - Automatizarea controlului dimensiunilor în construcția de mașini. Editura Tehnică, București, 1987
10. X X X - Progresele cercetării științifice în domeniul mașinilor unelte. Comunicări ICST-Titan București, 1986
11. X X X - Raport-Information 7/85. Catalog Mașini de dantareș cu Frezile.

12. X X X

- Mașină verticală de frezat reglabilă prin rostogolire, cu comandă adaptivă, PDA00-13CAL. Proiect, Intreprinderea Mecanică Cugir-RSR

CAPITOLUL 2

13. ALSU, A., și alții

- Programarea asistată de calculator a mașinilor unelte. Editura Tehnică, București, 1980

14. BASTIUREA, GH., DODON, E., și alții

- Comanda numerică a mașinilor-unelte. Editura Tehnică, București, 1976

15. BORANGIU, TH., și alții

- Structuri moderne de conducere automată a mașinilor-unelte. Editura Tehnică, București, 1980

16. BAILA, N.A.,

- Comanda adaptivă a turăției la mașinile de frezat orizontale de consolă. Teză de doctorat. Conducător științific Prof.dr.ing. Dodon E., IPTVT, 1978

17. DODON, E., și alții

- Rezultatele experimentării unui sistem de comandă adaptivă la superfinisare. Conf. PUPR, IPTVT, 1981

18. DODON, E., și alții

- Comanda adaptivă a vitezei la mașini de danturat cu freză-rotor. Catedra TCM, IPTVT, 1983

19. DRAGHICI, G.,

- Bazele teoretice ale proiectării proceselor tehnologice în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1971

20. GARBIS, M.,

- Aspecti dell'ottimizzazione dei parametri di lavoro della frezatrice a creatore. ICMUA, Rev. Macchine 10, 1975

21. MILITARU, C.,

- Fiabilitatea și precizia în tehnologia construcțiilor de mașini. Editura Tehnică, București, 1987

22. MINCIU, C., - Proiectarea și tehnologia sculelor pentru danturarea. Editura Tehnică, București, 1986
23. MORARU, V., - Teoria și proiectarea mașinilor unelte. Editura Didactică și Pedagogică, București 1985
24. PUTZ, V., - Influența regisurilor tranzitorii ale comenzii adaptive asupra preciziei piesei. Referat doctorat. Conducător științific Prof.dr.ing. Dodon E., IPTVT, 1980
25. SAUER, L., și alții - Angrenaje, tehnologie, control, probleme speciale. Editura Tehnică, București, 1970
26. URDEA, G., - Comanda adaptivă la mașini de rectificat rotund exterior între vîrfuri. Teză de doctorat. Conducător științific Prof. dr.ing. Dodon E., IPTVT, 1975
27. VAIDA, A., DODON, E., și alții - Mașini-unelte, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1970
28. X X X - LE 221 CNC Gear Helling Machine. Catalog Lorenz Ettlingen
29. X X X - Gleason. Catalog Mașini de danturat, 1966
- CAPITOLUL 3
30. BOBROV, V.F., și alții - Vlienie tipa struzki i narosta na harakter iznosvania rentov. iz tverologo sput va. Stanki i instrument nr.7/1976
31. DANIELEAN, A.M., - Rezonanță metalică și instrument G.M.T.I. Mașinostroitelnei Literaturi. Moscova, 1950
32. DUMITRAS, C., și alții - Așchieria metalelor și fiabilitatea sculelor așchietoare. Editura Tehnică, București, 1983
33. ELIASBERG, M.E., - O nezavisimosti graniț i ustoičivosti protessa rezonans at vozmutenii po sledu. Stanki i instrument nr.11/1976
34. HOFFMEISTER, B., - Der Verschleiss an Wälzfräser. Lindenberg/ALLGäu nr.99/1971
35. LAZARESCU, D., I., - Teoria așchierii metalelor și proiectarea sculelor. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1964

36. LAZARESCU, D.I., și alții
- Apoiolare și scule psihote-
re. Editura Didactică și Ped-
agogică, București, 1976
37. LILICIK, L.M., și alții
- Metodă spreacelensia refușoik
svolnov instrumenta. Stenki
i instrument nr.6/1966
38. MAKAROV, A.D.,
- Iznos i stoikostfi refușoik
instrumentov. Magazine vrole tie
Medova, 1966
39. OPREAN, A., și alții
- Bazele psihicrii și generării
suprafetelor. Editura Didacti-
că și Pedagogică, București,
1961
40. PUTZ, V.,
- Considerații privind utilizarea
conterului durabilității
sculei la stabilirea fetei
de opalizare. Conf. PUTZ, IPVT
1991
41. PUTZ, V.,
- Stabilirea durabilității vrole
tice la stabilirea durabilității
și frazel-telo, Conf. PUTZ,
IPVT, 1961
42. PUTZ, V.,
- Considerații asupra emvențio-
lor de creșiere a sculei vrole-
lor psihoteore, utilizate
la stabilirea durabilității
conteru, I.A. Tănușura, apr-
11e, 1965
43. PUTZ, V.,
- Uzura sculelor la vrolele
conteru și conteru psihote-
re, Referat doctvrit. Conduc-
tor științific Profesor. Ing.
Bolon B., IPVT, 1966
44. PUTZ, V.,
- Conteru și la stabilirea con-
teru psihoteore: vrole durabi-
lității scule și vrolelor
conteru psihoteore și frazel-telo.
Conf. PUTZ, IPVT, 1966

45. PUTZ, V., - Considerații privind influența vitezei și avansului pe dinte asupra mărimii uzurii la frezare. Conf.PUPR, IPFVT, 1986
46. TRIGGER, K.I., - Influența căldurii asupra uzurii sculei. La Machine Outil Francoise nr. 327/1967
47. ZOREV, N.N., - Producerea oțelului cu ajutorul sculelor armate cu aliaj dur, în condițiile aşchierii intermitende cu secțiuni mari ale aşchierii. Vestnik Metalurgiciei, nr.2/1963
48. X X X - Uzura sculelor, STAS 6599-80
- CAPITOLUL 4
49. ANTILOV, V.N., și alții - Vistavka I.M.T.S.-86 Stanki i instrument nr.8/1987
50. BUCSA I., și alții - Instrumntarul tehnicianului proiectant de mașini și utilaje, Editura Tehnică București, 1971
51. BELOUS, V., - Creația tehnică în construcția de mașini. Editura Junimea, Iași 1986
52. CUCURUZ, L., PUTZ, V., - Stand pentru determinarea uzurii ambului bușii-bulon pentru material rulant, B.S.T.-IPFVT, Tom 30, 1985
53. DEMIAN, T., și alții - Elemente constructive de mecanică fină, Aplicații, E.D.P. București, 1980
54. DODON, E., PUTZ, V., - Stand pentru studiul geometriei frezajelor mele instalate pe mașini-unelte, Electromotor, Timișoara, 1986
55. DODON, E., PUTZ, V., - Aparat pentru controlul uzurii frezajelor-mele. Decar Invenție IPFVT, 1989
56. LAZARESCU D.I., și alții - Toleranțe și ajustaje. Calculul cu toleranțe, Calibre. Editura Tehnică, București, 1984
57. NANU, A., - Tehnologia materialelor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1972.

58. OSIPOVA, S.S., și alții - Istroistva kontrolia sostoiania rejiscevo instrumenta v protesse rezania. Stanki i instrument, nr. 3/1987
59. PUTZ, V., CUCURUZ, L., - Stand pentru determinarea uzurii ansamblului bucă-bulon pentru material rulant .Certificat inovație nr.25/7/1984, MICH,22.5/1985
60. SANDA, V.R., SELARIU, M., și alții - Proiectarea dispozitivelor. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
61. TACHE, V., - Elemente de proiectare a dispozitivelor pentru mașini unelte, Editura Tehnică, București, 1985
62. TRUSCULESCU, M., PUTZ, V., - Verschleissprüfungen an Büchsen-Bolzeneinheiten von Fahrbeitragsmitteln, B.S.T., IPTVT, Tom 31, 1986
63. X X X - Klingelberg. Spanflächen-Prüfgerät für Wälzfräser. Model PWB 300, Catalog
64. X X X - Klingelberg. Spanflächen-Prüfgerät für Wälzfräser. Model PWF 300, Catalog
65. X X X - Izmeritelinfe prihorfi. Stankei sport CCSR, Moskva, nr.14
66. X X X - Sandvik, Coromant, Catalog
- CAPITOLUL 5
67. BOTEZ, E., - Mașini-unelte, Editura Tehnică, București, 1977
68. BELOUS, V., - Sinteza sculelor așchietoare. Editura Junimea, Iași, 1980
69. CHESA, I., și alții - Alegerea și utilizarea ștelurilor Editura Tehnică, București, 1984
70. ENACHE, ST. și alții - Tehnologia sculelor așchietoare, Editura Tehnică, București, 1987

71. ENACHE, ST., și alții - Tehnologia sculelor aşchietoare, Editura Tehnică, Bucureşti, 1986
72. NEFEDOV, N., și alții - Typical Examples and Problems, in Metal Cutting and Tool Design. Mir Publishers-Moscow 1987
73. POP, I., - Proiectarea sculelor aşchietoare, IPTVT, 1984
74. PICOS, C., și alții - Calculul adăsurilor de prelucrare și a regizurilor de aşchiere, Editura Tehnică, Bucureşti, 1974
75. SECARA, GH., - Proiectarea sculelor aşchietoare, Editura Didactică și Pedagogică, Bucureşti, 1979
76. LIVIASE, A., - Regizuri de aşchiere, Adăsură de prelucrare, Editura Tehnică, Bucureşti, 1987
77. ZETU, A., - Maşini Unelte automate, și cu comandă numerică, Editura Didactică și Pedagogică, Bucureşti, 1982
78. ZOLMAN, D., - Teoria sculelor aşchietoare, Editura Tehnică, Bucureşti, 1987
79. X X X - Organe de Maşini. Vol. I d, Agregate Reductoare. Editura Tehnică, Bucureşti, 1984
80. X X X - Foarte și ogclari, Editura Tehnică, Bucureşti, 1973
- CAPITOLUL 5.3.
81. BAIKOV, A.N., - Aşchierăa roţilor dinţate cu număr mic de dinţi pe maşini de frezant dentură. Stanki i instrument, nr. 2/74
82. PAVLOV, L.E., și alții - Influenţa vitezei de frezare a denturii asupra formării profilului dinţilor roţilor prelucrate. Stanki i instrument nr. 2, 1978
83. PASCALIE, V., și alții - Control statistic și fiabilitate, Editura Didactică și Pedagogică, Bucureşti, 1984

84. PUTZ, V., - Aspecte ale variației forței de agchiere la danturare, în regim tranzițiu pe mașini-unelte echipate cu CA. Electromotor, 1987
85. PUTZ, V., - Aspecte ale influenței variației vitezei de agchiere la danturare, asupra uzurii frezei-melc. Electromotor, 1988
86. STARIKOVICI, V.S., - Vliianie krutilinoi jestkestitoni delenia zybrefrezernogo stanka na tselnosti naprezoemih koles. Stanki i instrument nr.9/1976
87. X X X - Walzfraser - Messmaschinen. PETTE. Technologie - Ihr Profit. Catalog
- CAPITOLUL 6
88. CALIN, S., și alții - Reglarea numerică a proceselor tehnologice, Editura Tehnică, București, 1986
89. CALIN, S., și alții - Conducerea adaptivă și flexibilă a proceselor industriale, Editura Tehnică, București, 1988
90. CONSTANTINESCU, I., și alții - Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice, Editura Tehnică București, 1986
91. CHIRIACESCU, S.T., - Stabilitatea dinamică în agchierarea telurilor, Editura Academiei RSR, București, 1984
92. DORIN, ALEX., - Controlul automat al uzurii sculelor în agchietoare în sisteme tehnologice flexibile. Construcția de mașini nr. 1, Ian. 1987, București
93. DORIN, ALEX., - Metode indirecte de diagnostic a uzurii sculelor în agchietoare. Construcția de mașini, nr.1, Ian. 1987, București
94. DRAGHICI, GH., - Tehnologia construcțiilor de mașini, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1984
95. POPESCU, I., - Optimizarea procesului de agchiere. Serviciul Românesc, Craiova, 1987

96. PUTZ, V., - Considerații privind utilizarea criteriilor de optimizare, la determinarea algoritmului de calcul pentru CA la M.U. Electromotor, oct. 1987
97. PUTZ, V., - Considerații privind influența avansului instalat pe mărimea cu CA, asupra evoluției uzurii FMC, la denturarea RDC. Conf. PUPR, IPTVT, mai, 1989
98. PUTZ, V., - Aspecte ale influenței variației vitezei de aşchiere, asupra evoluției uzurii F.M., la denturarea în centravansului. Conf. PUPR, IPTVT, mai, 1989
99. PUTZ, V., - Aspecte ale influenței regimului tranzitoriu asupra frezei-melc, la denturarea RDC, Conf. PUPR, IPTVT, mai, 1989
100. PUTZ, V., - Contribuții la formularea relațiilor de calcul pentru viteza de aşchiere, în regim tranzitoriu, la denturarea cu freze-melc. Electromotor, Timișoara, mai, 1989
101. RADULESCU, O., - Sinteze optimale, în construcția de mașini, Editura Tehnică, București, 1984
102. SIDORENKO, L.C., - Răscet parametrilor oleia, brezaenogo Krom-kanicevinscinski frezi. Stanki i instrument nr. 9/1986
103. SZAPPANYOS, M., - Contribuții la îmbogățirea performanțelor angrenajelor melcate cilindrice prin reprofilarea platurilor melcului. Teză de doctorat. Conferința științifică Prof. Dr. doc. ing. Dezideriu Ilies, I.P. Cluj-Napoca, 1984
104. TUDORAN, I., - Tratatul matematică a datelor experimentale. Funcții empirice, Editura Academiei RSR, București, 1976
105. NORMING, A.G., și alții - Prelucrarea datelor experimentale, Editura Tehnică, București, 1959