

MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

Ing. PASTOR AUGUSTIN EMIL

**OPTIMIZAREA FACTORILOR
TEHNOLOGICI LA PRELUCRAREA
CAMELOR PLANE**

TEZĂ DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA „POLITEHNICA”
TIMIȘOARA

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA”
TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ
CATEDRA DE MECANICĂ
ȘI METROLOGIE

Conducător științific:
Prof. univ.dr. ing. ȘTEFAN ANGHEL

Timișoara
2002

PREFAȚĂ

Prezenta teză de doctorat reprezintă o sinteză a activității de cercetare și proiectare tehnologică desfășurată de autor în domeniul prelucrării prin așchiere a profilului camelor plane.

Obiectivul principal al lucrării îl constituie optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea primară și finală a profilului camelor plane, care fac parte din mecanismul de distribuție al motoarelor Diesel de mare putere.

Lucrarea încearcă să soluționeze problemele tehnologice care apar în procesul de execuție a arborilor cu came monobloc și a camelor individuale, bazându-se pe pregătirea de specialitate, pe cunoștințele și experiența autorului.

Teza este structurată pe 5 capitole și se întinde pe 198 de pagini. Aceasta cuprinde : 106 relații, 136 de figuri și 27 de tabele.

Autorul exprimă întreaga gratitudine și recunoștință conducătorului științific, domnului prof. univ. dr. ing. Ștefan Anghel, reputat specialist și om de reală ținută morală, care prin îndrumarea eficientă mi-a orientat ideile și eforturile pentru finalizarea acestei lucrări.

Calde mulțumiri autorul adresează domnului prof. univ. dr. ing. Ioan Lungu care m-a determinat să abordez la un nivel științific problematica procesului tehnologic de elaborare a camelor.

De asemenea, autorul exprimă mulțumiri domnilor: prof. univ. dr. ing. dr. h. C. Francisc Kovacs, prof. univ. dr. ing. Dan Perju, prof. univ. dr. ing. Ioan Vela și prof. univ. dr. ing. Lucian Mădăras, pentru sugestiile de real folos acordate cu ocazia susținerii examenelor și referatelor.

Totodată, aduce mulțumiri colegilor de la Uzina Constructoare de Mașini Reșița, în mod special domnului director general ing. Dan Obădău și domnului inginer șef pregătirea fabricației Mircea Bolovedea, pentru sprijinul acordat pe parcursul efectuării experimentelor.

Mulțumirile autorului sunt adresate și colegilor de la Facultatea de Inginerie a Universității „Eftimie Murgu” Reșița, pentru sugestiile utile exprimate în timpul elaborării tezei.

Nu în ultimul rând, autorul mulțumește familiei pentru înțelegerea și sprijinul acordat în perioada elaborării tezei.

Reșița, 20 octombrie, 2002.

Autorul

PREFAȚĂ

Prezenta teză de doctorat reprezintă o sinteză a activității de cercetare și proiectare tehnologică desfășurată de autor în domeniul prelucrării prin așchiere a profilului camelor plane.

Obiectivul principal al lucrării îl constituie optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea primară și finală a profilului camelor plane, care fac parte din mecanismul de distribuție al motoarelor Diesel de mare putere.

Lucrarea încearcă să soluționeze problemele tehnologice care apar în procesul de execuție a arborilor cu came monobloc și a camelor individuale, bazându-se pe pregătirea de specialitate, pe cunoștințele și experiența autorului.

Teza este structurată pe 5 capitole și se întinde pe 198 de pagini. Aceasta cuprinde : 106 relații, 136 de figuri și 27 de tabele.

Autorul exprimă întreaga gratitudine și recunoștință conducătorului științific, domnului prof. univ. dr. ing. Ștefan Anghel, reputat specialist și om de reală ținută morală, care prin îndrumarea eficientă mi-a orientat ideile și eforturile pentru finalizarea acestei lucrări.

Calde mulțumiri autorul adresează domnului prof. univ. dr. ing. Ioan Lungu care m-a determinat să abordez la un nivel științific problematica procesului tehnologic de elaborare a camelor.

De asemenea, autorul exprimă mulțumiri domnilor: prof. univ. dr. ing. dr. h. C. Francisc Kovacs, prof. univ. dr. ing. Dan Perju, prof. univ. dr. ing. Ioan Vela și prof. univ. dr. ing. Lucian Mădăras, pentru sugestiile de real folos acordate cu ocazia susținerii examenelor și referatelor.

Totodată, aduce mulțumiri colegilor de la Uzina Constructoare de Mașini Reșița, în mod special domnului director general ing. Dan Obădău și domnului inginer șef pregătirea fabricației Mircea Bolovedea, pentru sprijinul acordat pe parcursul efectuării experimentelor.

Mulțumirile autorului sunt adresate și colegilor de la Facultatea de Inginerie a Universității „Eftimie Murgu” Reșița, pentru sugestiile utile exprimate în timpul elaborării tezei.

Nu în ultimul rând, autorul mulțumește familiei pentru înțelegerea și sprijinul acordat în perioada elaborării tezei.

Reșița, 20 octombrie, 2002.

Autorul

1	INTRODUCERE	3
1.1	Importanța mecanismelor cu came în construcția de mașini.....	3
1.2	Utilizarea camelor la mașini-termice.....	5
1.3	Caracteristici ale camelor utilizate în fabricația de motoare Diesel de puteri mari.....	12
1.3.1	Came individuale.....	12
1.3.2	Arbori cu came monobloc.....	18
2	STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIEI DE PRELUCRARE A CAMELOR PLANE	21
2.1	Sinteza analitică a camelor plane utilizate la motoarele Diesel de mare putere.....	21
2.2	Materiale, semifabricate și tratamente termice primare pentru came individuale și pentru arbori cu came.....	30
2.3	Procedee de prelucrare-primară a profilului camelor.....	34
2.3.1	Prelucrarea prin strunjire – copiere.....	35
2.3.2	Prelucrare prin frezare.....	36
2.3.2.1	Copierea după șablon.....	37
2.3.2.2	Conturare prin CNC.....	41
2.4	Tratamente termice secundare.....	51
2.4.1	Condiții tehnice impuse stratului superficial.....	51
2.4.2	Călirea prin curenți de înaltă frecvență.....	59
2.4.3	Cementarea și călirea.....	66
2.4.4	Metode de verificare a durității și grosimii stratului durificat.....	70
2.5	Rectificarea profilului camelor.....	77
2.5.1	Scule abrazive.....	77
2.5.2	Rectificarea profilului camei prin copiere după șablon.....	85
2.5.2.1	Rectificarea profilului camelor prin copiere cu mișcare de translație.....	86
2.5.2.2	Rectificarea profilului camelor prin copiere cu mișcare de oscilație.....	88
2.5.3	Rectificarea profilului camei pe mașini de rectificat cu comandă numerică.....	91
2.6	Controlul profilului camelor.....	94
2.6.1	Controlul dimensional.....	95
2.6.2	Controlul defectoscopic nedistructiv.....	99
2.7	Concluzii privind stadiul actual al tehnologiei de prelucrare a camelor....	104
3	OPTIMIZAREA FACTORILOR TEHNOLOGICI LA PRELUCRAREA PRIMARĂ A PROFILULUI	106
3.1	Optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea profilului prin strunjire...	106
3.1.1	Prezentarea instalației experimentale.....	109
3.1.2	Optimizarea turației piesei.....	114
3.1.3	Optimizarea adâncimii de așchiere și a avansului.....	124
3.1.4	Optimizarea parametrilor geometrici ai sculei.....	127
3.1.5	Concluzii.....	130
3.2	Optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea profilului prin frezare....	132
3.2.1	Prezentarea instalației experimentale.....	134
3.2.2	Optimizarea diametrului frezei.....	138
3.2.3	Optimizarea adâncimii de așchiere, a vitezei de avans pe contur și a vitezei de așchiere.....	147
3.2.4	Rezultate experimentale.....	148

3.2.5	Concluzii.....	152
4	OPTIMIZAREA FACTORILOR TEHNOLOGICI LA PRELUCRAREA FINALĂ A PROFILULUI	154
4.1	Optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea finală a profilului la arbori cu came monobloc.....	155
4.1.1	Prezentarea instalației experimentale.....	155
4.1.2	Optimizarea alegerii calității discului abraziv.....	160
4.1.3	Optimizarea alegerii diametrului discului abraziv.....	160
4.1.4	Optimizarea vitezei de așchiere, a turației piesei și a avansului de pătrundere.....	163
4.1.5	Concluzii.....	165
4.2	Optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea finală a profilului la came individuale mari.....	171
4.2.1	Prezentarea instalației experimentale.....	171
4.2.2	Optimizarea alegerii diametrului discului abraziv.....	176
4.2.3	Optimizarea alegerii diametrului discului abraziv.....	177
4.2.4	Optimizarea vitezei de așchiere, a turației piesei și a avansului de pătrundere.....	187
4.2.5	Concluzii.....	189
5	CONTRIBUȚII PERSONALE	191
	BIBLIOGRAFIE	193

Capitolul 1. INTRODUCERE

1.1. *Importanța mecanismelor cu came în construcția de mașini*

Mecanismele cu came au o răspândire foarte largă în toate domeniile tehnicii, fiind unele dintre cele mai importante mecanisme de transformare a mișcării de rotație în mișcare de translație, alături de mecanismul bielă-manivelă. Față de mecanismul bielă-manivelă, mecanismul cu camă poate reproduce teoretic orice legi de mișcare, păstrând o simplitate structurală remarcabilă, ceea ce nu este posibil de realizat de către mecanismul bielă-manivelă.

Ceea mai cunoscută utilizare a mecanismului cu camă este din domeniul motoarelor cu ardere internă, dar, o largă răspândire au și în următoarele domenii: mașini-unelte, industrie textilă, industrie alimentară, echipament pentru automatizare; industria electrotehnică, ș.a.

Cea mai veche referire la camă [54] datează de pe vremea matematicianului și inventatorului grec Archimede (287-212 îen), cama fiind utilizată la mașinile de război și la dispozitivele de apărare concepute de Archimede și utilizate în al doilea război punic și la asediul Siracusei de către romani. Descoperirea tehnică cea mai importantă a secolului al XII-lea a fost moara de vânt. Perfecționarea construcției morilor de vânt a dus la dezvoltarea unor mecanisme, cum sunt: manivela, pârghii articulate, angrenaje, cuplaje, mecanisme cu camă [54]. Prima abordare teoretică a mecanismului cu camă [34] a fost făcută de către Karl Grübler și Ferdinand Alt în anul 1875, aceasta fiind publicată la Leipzig. În domeniul în care mecanismul cu came are cea mai mare răspândire, și anume motoarele cu ardere internă, prima utilizare a acestuia datează din anul 1886, mecanismul cu came fiind utilizat pentru comanda supapelor motorului de 1,1 CP conceput și realizat de către inginerii Göttlieb Daimler și Wilhelm Maybach [87].

Dezvoltarea social economică a omenirii în secolele al XIX-lea și al XX-lea, a cunoscut o remarcabilă creștere. Progresul accelerat al tehnicii, cererea precum și oferta pe piață s-au amplificat, impunând astfel criteriul rapidității cu care ofertatorul răspunde cerințelor pieții. Acest lucru a condus la dezvoltarea producției și implicit a tehnologiei, pe calea automatizării, în scopul creșterii productivității muncii, reducerii costurilor de fabricație și al îmbunătățirii calității, prin eliminarea influenței operatorilor umani din procesul de producție.

În secolul al XIX-lea și la începutul secolului XX automatizarea proceselor de producție s-a bazat în foarte mare măsură pe mecanismele cu camă, exemplele fiind numeroase: mașini-unelte, războaie de tesut, mașini de cusut, dozatoare, aparatură electrotehnică ș.a., camele profilate fiind utilizate la comanda acestor mașini [72; 98]. Prin profilul camelor sunt memorate informații de deplasare și de comutare, necesare ciclurilor de lucru ale mașinilor. Stabilirea profilului camelor, precum și executarea fizică a profilului este relativ dificilă, necesitând o pregătire tehnologică și timp îndelungat, ceea ce justifică utilizarea acestora doar în automatizarea producției de serie mare.

Necesitatea de flexibilitate impusă de economia de piață, a condus la înlocuirea purtătorului de informații rigid cu purtători de informații ce pot fi ușor înlocuiți sau modificați. Astfel de preocupări au existat încă din secolul al XIX-lea, cel ce a descoperit purtătorul de informații interschimbabil fiind Joseph M. Jacquard. În anul 1809 acesta a folosit o cartelă perforată din tablă, pentru comanda automată a războaielor de tesut. În anul 1938, Claude E. Shannon a pus bazele teoretice prin demonstrarea importanței sistemului de numerație binar pentru calcule rapide și transmitere de date, iar în anul 1946, Dr. John W. Mauchly și Dr. Presper J. Eckert, livrează armatei americane primul calculator electronic, punând astfel baza prelucrării electronice a datelor.

În ultimele decenii ale secolului XX automatizarea a avut, și are în continuare, la bază, informatica și tehnica de calcul, efectul dezvoltării acestora a deschis drumul către fabrica automatizată sau fabrica viitorului [37], prin conceptul CIM (Computer Integrated Manufacturing), prima fabrică ce funcționează după acest principiu fiind fabrica de roboți industriali Fujitsu a concernului Fanuc, pusă în funcțiune în anul 1981. Și în acest context mecanismele cu came sau camele și-au găsit aplicații. De exemplu, la transmisiile mecanice folosite pentru acționarea roboților, foarte utilizată este transmisia armonică, la care "generatorul de undă" cel mai frecvent utilizat este o camă. De asemenea, în componența elementelor de automatizare: electrotehnice, hidraulice, pneumatice, camele și mecanismele cu camă sunt frecvent utilizate.

Prin construcția mecanismelor cu came se pot reproduce, teoretic exact, orice legi de mișcare. Exactitatea realizării practice a legii de mișcare depinde în mare măsură de precizia de prelucrare a profilului camei. Prelucrarea profilului camelor necesită o tehnologie relativ pretențioasă, în special în cazul camelor ce trebuie să asigure legi de mișcare complexe.

Mecanismele cu came realizează o corelație matematică între mărimea de intrare (deplasarea unghiulară, sau liniară a camei) și mărimea de ieșire (deplasarea liniară sau unghiulară a tchetului), adică se pot considera mecanisme generatoare de funcții.

Mecanismul cu came are următoarele elemente principale: cama (de regulă element conducător), tchetul (de regulă elementul condus) și elementul de legătură la baza fixă (batiu).

Clasificarea mecanismelor cu came se poate face folosind mai multe criterii.

- După structura lor se deosebesc: mecanisme cu came plane și mecanisme cu came spațiale;
- După tipul mișcării camei există: came cu mișcări de rotație și came cu mișcări de translație;
- După mișcarea tchetului: cu mișcare de oscilație și cu mișcare de translație;
- După modul de închidere a cuplei cinematice superioare se disting posibilitățile: cu închidere prin formă și cu închidere prin forță.
- După forma tchetului: cu vârf, cu rolă sau cu disc.

În cele ce urmează se vor lua în considerație numai mecanismele cu came plane cu închidere prin forță a cuplei superioare, acest tip de mecanism cu camă fiind utilizat în mecanismul de distribuție al motoarelor cu ardere internă.

De regulă mișcarea tchetului este periodică, deoarece ea se repetă după o perioadă de timp, corespunzătoare unei rotații complete a camei. Legea de mișcare a tchetului poate fi impusă integral sau parțial, de procesul tehnologic deservit de mecanismul cu cama considerată. La stabilirea legii de mișcare a tchetului se acordă o atenție specială limitării forțelor de inerție ce acționează asupra sa și a maselor mobile legate de tchet.

1.2. Utilizarea camelor la mașini termice

Inventatorul motorului cu abur, Denis Papin, și-a făcut publică această realizare în 1707, când a fundamentat-o teoretic. Însă cel care a avut o contribuție decisivă la impunerea mașinii cu abur în scopuri industriale a fost James Watt. Prin brevetul pe care acesta l-a depus în aprilie 1784, descria mașina sa cu abur nu ca o invenție destinată unor scopuri speciale, ci ca factor general al mării industriei. Astfel, au fost create premisele generalizării mașinii cu abur ca propulsor în domeniul transportului rutier, feroviar, maritim și fluvial. Dezavantajele motoarelor cu abur, și anume: greutatea mare datorată cazanului și a rezervelor de apă și combustibil, timpul mare de pregătire pentru pornirea motorului, duranța scăzută, au impus la începutul secolului XX dezvoltarea motoarelor cu ardere internă. Dintre acestea, cel care a înlocuit motorul cu abur, utilizat în domeniul transporturilor, a fost motorul inventat de inginerul german Rudolf Diesel (1858-1913). Principiile de funcționare și caracteristicile noului tip de motor au fost fundamentate în lucrare sa "Teoria și construcția unui motor cu ardere internă rațional menit să înlocuiască mașina cu abur și alte motoare existente în momentul de față" publicată în 1893. Principial, la motorul Diesel, față de motorul cu aprindere prin scânteie, se renunță la sistemul de aprindere a amestecului combustibil-aer, format de regulă din pilă electrică, bobine și bujii. Sub efectul compresiunii, amestecul combustibil-aer se autoaprinde, astfel că motorul Diesel devine mai ieftin cu 20...30% pe cal putere față de motorul cu aprindere prin scânteie, permițând totodată utilizarea derivatelor mai grele ale țiteiului în procesul de combustie.

În anul 1902 francezii construiesc prima navă pentru transport fluvial, utilizând motoare, fabricate de Rudolf Diesel în fabrica sa din Ausburg. În continuare, se generalizează utilizarea motoarelor Diesel la transporturile maritime de mărfuri. În anul 1912 danezii construiesc primul pachebot propulsat cu un astfel de motor, consfințind victoria motorului Diesel asupra motorului cu abur, în traficul marin. În anul 1908, tot Rudolf Diesel echipează prima locomotivă cu un motor de concepție proprie, cu puterea de 1000 CP, fiind doar o încercare, finalizată însă de uzinele elvețiene SULZER în anul 1912, care au livrat căilor ferate germane prima locomotivă de acest tip. Tot în acest timp, la uzinele Diesel, se produc motoare perfecționate care echipează mijloace de transport auto de capacitate și tonaje mari.

La motoarele cu ardere internă comanda supapelor de admisie, evacuare și a pompei de injecție a combustibilului, este asigurată de către mecanisme cu came. Supapele de admisie și evacuare sunt poziționate în chiulasa motorului, în poziția închis scaunul de așezare practicat pe talerul supapei se află în contact cu scaunul supapei, practicat în chiulasă. Acest contact, metal pe metal, trebuie să asigure etanșarea la presiunea maximă de ardere din camera cilindrului, pentru ca motorul să aibă o funcționare corectă. Poziția închisă este menținută prin intermediul arcurilor ce se află montate între tijele supapelor și chiulasă. Supapele sunt acționate prin intermediul tijelor împingătoare, care transmit mișcarea datorată variațiilor de profil ale camelor, prin intermediul tacheților, la culbutorii montați în chiulasă. Culbutorii acționează asupra tijelor supapelor, asigurând astfel deschiderea acestora. Între tija supapei și culbutor trebuie să existe un joc, care să permită închiderea supapei atunci când temperatura motorului crește. Acest joc se numește joc de dilatație. Funcționarea normală și fără zgomot a motorului poate fi asigurată prin menținerea jocului de dilatație între limita minimă și maximă, ceea ce se poate face numai prin verificări și reglaje periodice. Prin utilizarea tacheților hidraulici, acest neajuns poate fi înlăturat. Deasemenea, se reduce substanțial zgomotul în timpul funcționării.

Toate cele patru faze ale funcționării mecanismului de distribuție, adică deschiderea admisiei, închiderea admisiei, deschiderea evacuării și închiderea evacuării, sunt stabilite în concordanță cu punctul mort superior și punctul mort inferior. Fazele de deschidere au loc în avans, admisia înainte de punctul mort inferior iar evacuarea înainte de punctul mort superior și poartă denumirea de avans la deschidere. Fazele de închidere au loc mai târziu, respectiv admisia după punctul mort superior iar evacuarea, după punctul mort inferior și sunt numite întârzieri la închidere.

Avansul la deschidere și întârzierea la închidere asigură o deschidere, respectiv închidere, treptată a supapei. Viteza de deschidere, respectiv închidere, a supapei fiind controlată prin profilul camei aferent fazelor respective, astfel încât să se evite apariția șocurilor. Deasemenea, au scopul de-a utiliza inerția curgerii gazelor în camera cilindrului, pentru a asigura umplerea, respectiv golirea cât mai completă a camerei de ardere.

Variația profilului camelor este transmisă supapelor datorită faptului că arborele cu came se află în mișcare de rotație, preluată de la arborele cotit prin intermediul unei transmisii mecanice cu lanț, sau cu angrenaje dințate. Mișcarea de rotație a arborelui cu came este sincronizată cu mișcarea de rotație a arborelui cotit astfel:

- la motoarele în patru timpi, un ciclu motor complet presupune două rotații complete ale arborelui cotit, în timp ce un ciclu complet de deschidere – închidere a supapelor presupune o rotație completă a arborelui cu came. Deci turația arborelui cu came are jumătate din valoarea turației arborelui cotit;
- la motoarele în doi timpi, un ciclu motor complet presupune o singură rotație. În această situație, turația arborelui cu came este egală cu cea a arborelui cotit.

În figura 1.1 este reprezentată secțiunea transversală prin motorul Diesel tip R 251, fabricat la Uzina Constructoare de Mașini Reșița. În partea dreaptă a figurii se poate observa structura mecanismului de distribuție pentru fazele de admisie și evacuare. Variațiile de profil ale camelor de evacuare și admisie sunt preluate de pârghia de acționare, prin intermediul roletelor, ce se află în contact permanent cu profilul camelor. Pârghia de acționare transmite mișcarea, preluată de la camă, la tija împingătoare. Transmiterea mișcării se face prin intermediul unei cuple cinematice sferice, formată din cupa sferică montată în pârghia de acționare și capul sferic montat în tija împingătoare. La capătul opus al tijei împingătoare se află o altă cuplă cinematică sferică, prin intermediul căreia se transmite mișcarea la culbutor. Prin mișcarea de oscilație a culbutorului, prin intermediul culpei cinematice sferice, aflată la celălalt capăt al culbutorului, mișcarea este transmisă la piesa de acționare a supapelor. Aceasta este o cuplă cinematică de translație, ce acționează direct asupra tijelor celor două supape. Prin intermediul arcurilor, aflate pe tijele supapelor, este asigurată menținerea în stare închisă a supapelor. Deasemenea, arcurile de pe tijele supapelor, împreună cu arcul interpus între piesa de acționare a supapelor și chiulasă, asigură menținerea permanentă a contactului dintre rola pârghie de acționare și profilul camei.

În partea stângă a figurii 1.1, se poate observa modalitatea de comandă a pompei de injecție. Variațiile de profil ale camei de injecție sunt preluate de către pârghia de acționare a pompei de injecție, prin intermediul unei role, care se află în contact cu profilul camei. Prin mișcarea de oscilație a pârghie, în jurul axei sale de rotație, variația de profil a camei este transmisă tijei pompei de injecție, prin intermediul unei cuple cinematice sferice. Prin deplasarea tijei pompei de injecție se asigură trimiterea unei cantități de combustibil sub presiune, la injectorul ce se află montat în partea centrală a chiulasei.

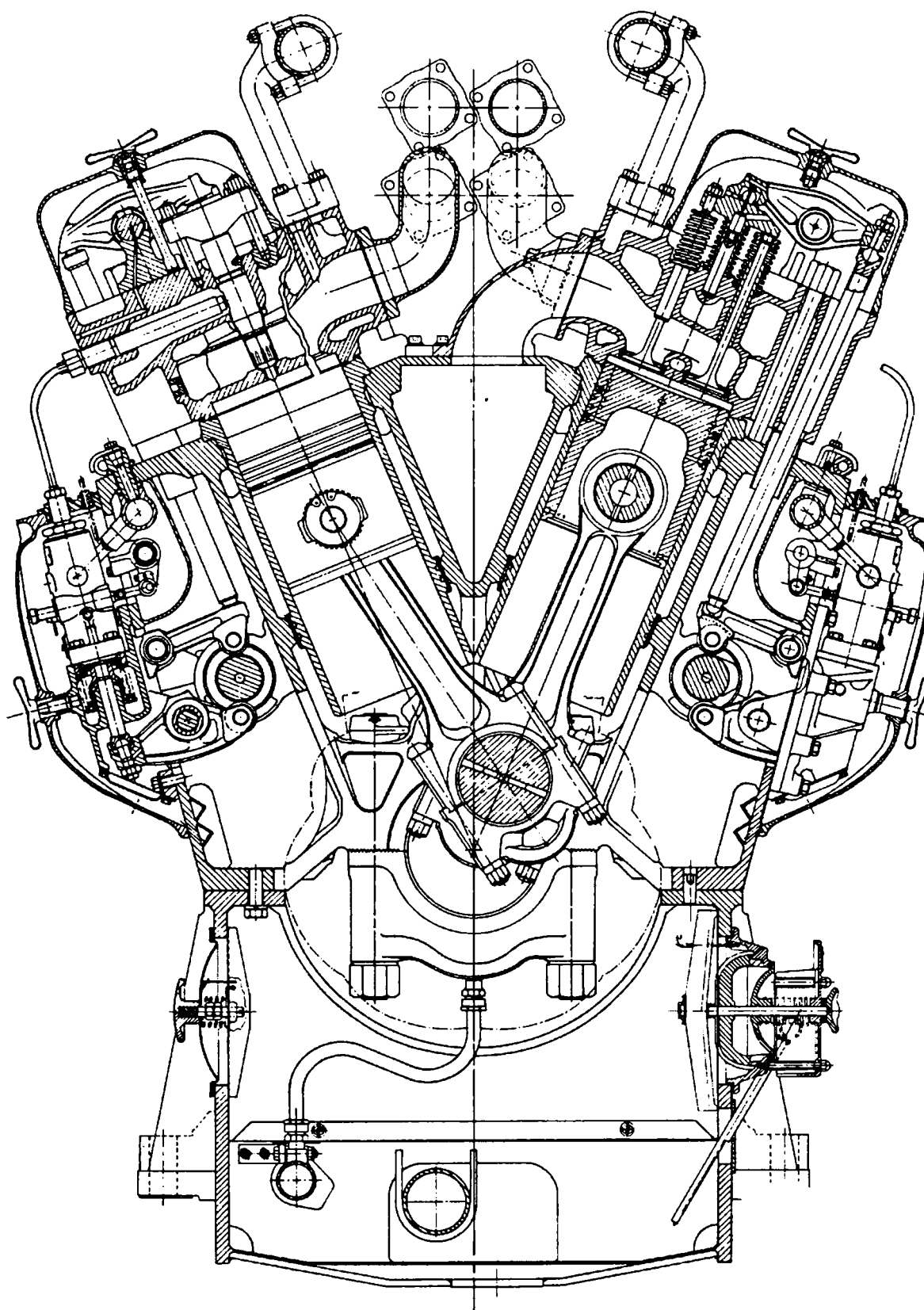


Fig. 1.1 Secțiune transversală prin motorul Diesel tip R 251

Motoarele rapide tip R 251 se fabrică la SC UCM Reșița SA sub licență ALCO ENGINES DIVISION USA, domeniul de utilizare al acestor motoare fiind: grupuri generatoare Diesel pentru tracțiune feroviară, grupuri generatoare Diesel staționare,

motoare pentru propulsie maritimă și fluvială. Funcție de puterea dorită, se fabrică motoare cu: 4, 6, 8, 12 și 16 cilindrii. Motoarele cu 4 și 6 cilindrii, au cilindrii dispuși în linie, celelalte motoare au cilindrii dispuși în V. Principalele caracteristici ale acestor motoare sunt: puterea cuprinsă între 1000 și 4000 CP, adică 250 CP/cilindru; turația nominală 750 rotații/minut; greutatea specifică 4,76 kg/CP, iar consumul specific de combustibil 161 g/CP.

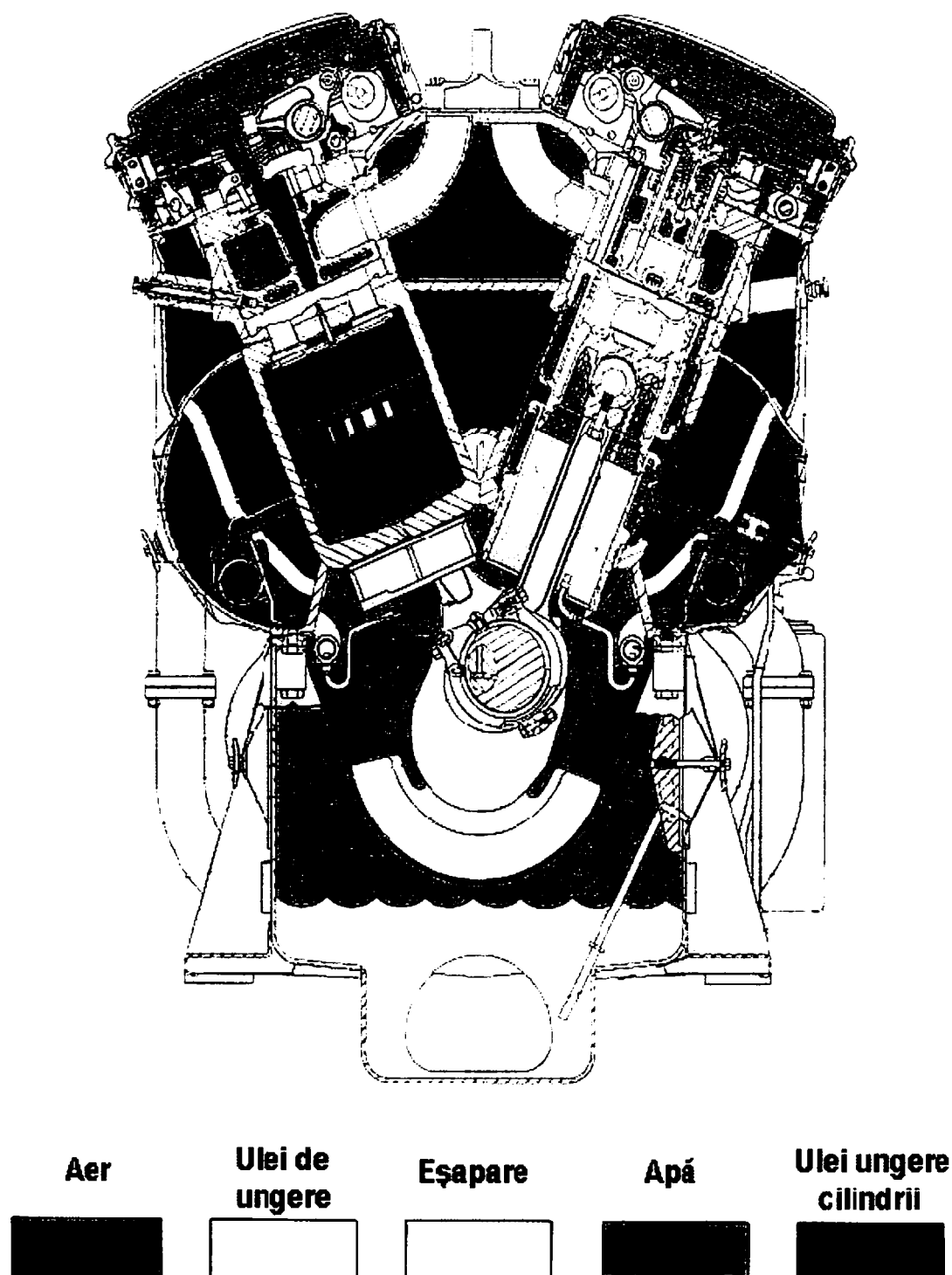


Fig. 1.2 Secțiune transversală prin motorul Diesel General Motors tip 645

În figura 1.2 este prezentat un alt caz de utilizare a mecanismului cu came la motoare cu ardere internă, arborele cu came fiind dispus în capul cilindrilor. Această soluție a fost adoptată de către fabricantul General Motors la motoarele tip 645,

Destinația acestor motoare în doi timpi este pentru tracțiune feroviară. În funcție de puterea dorită, acest tip de motor poate avea 8, 12 sau 16 cilindri, dispuși în V. În partea dreaptă a figurii se observă modul de comandă a supapelor de evacuare, se poate constata că această dispunere a arborelui cu came este mai avantajoasă, deoarece micșorează numărul de componente ale lanțului cinematic de distribuție. Tachetul execută mișcarea de oscilație în jurul arborelui culbutor, rola tachetului fiind dispusă la unul din capetele culbutorului, la celălalt capăt al culbutorului fiind amplasat un cuplaj sferic prin intermediul căruia variațiile de profil ale camei sunt transmise pârghiei de acționare a supapelor.

În partea stângă a figurii se poate observa modul de acționare al mecanismului cu camă ce asigură comanda injectiei de combustibil. Tachetul execută mișcarea de oscilație în jurul axei pârghiei de acționare a injectorului, rola fiind dispusă la unul din capetele pârghiei de acționare a injectorului, la celălalt capăt este o articulație sferică prin intermediul căreia este acționată tija de comandă a injectorului, făcând posibilă intrarea în injector a combustibilului sub presiune asigurat de către pompa de injecție.

Motorul fiind în doi timpi, admisia se face prin ferestrele practicate la partea inferioară a cămășii cilindrului, pe arborele cu came fiind dispuse doar camele de evacuare și de injecție.

Principalii parametri ai acestor tipuri de motoare, care se repară la Uzina Constructoare de Mașini Reșița sunt următorii: puterea de 240 CP/cilindru, turația nominală 950 rotații/minut, greutatea specifică 4,43 kg/CP și consumul specific de combustibil 171 g/CPh.

În figura 1.3 este prezentată secțiunea transversală prin motorul MAN Burmeister & Wein tip S 70 MC, motor în doi timpi utilizat pentru propulsie navală. Acest tip de motor se construiește cu 4, 5, 6, 7 sau 8 cilindri funcție de puterea necesară a motorului. La Uzina Constructoare de Mașini Reșița s-a executat varianta de motor cu 6 cilindri. Deasemenea, motoare MAN Burmeister & Wein, au mai fost executate tipurile 4 L 35 și 6 L42, care sunt identice din punct de vedere funcțional, diferind între ele doar prin dimensiuni. Caracteristicile acestor tipuri de motoare sunt prezentate în tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Caracteristici	Tip motor		
	6 S 70 MC	6 L 42 MC	4 L 35 MC
Puterea	22920 CP	8130 CP	3520 CP
Turația nominală	91 rotații/min	176 rotații/min	210 rotații/min
Greutate	578 tone	125 tone	50 tone
Consum specific de combustibil	126 g/CPh	130 g/CPh	132 g/CPh
Diametrul alezajului	700 mm	420 mm	350 mm
Cursa pistonului	2674 mm	1360 mm	1050 mm

În partea dreaptă a figurii se poate observa cama de evacuare, care se află în contact cu rola tachetului, contactul dintre ele fiind asigurat prin intermediul arcului elicoidal. La aceste tipuri de motoare tachetul ce acționează supapa de evacuare este hidraulic, la partea superioară a tachetului se află un cilindru hidraulic. Prin ridicarea tachetului, pistonul din partea superioară a tachetului trimite o cantitate de ulei sub presiune către supapa de evacuare, aceasta, fiind amplasată în partea centrală a chiulasei. La partea superioară a tijeii supapei de evacuare se află un cilindru hidraulic. În momentul în care cantitatea de ulei transmisă de către cilindrul hidraulic al tachetului intră în cilindrul hidraulic al supapei de evacuare tija supapei este antrenată în mișcare

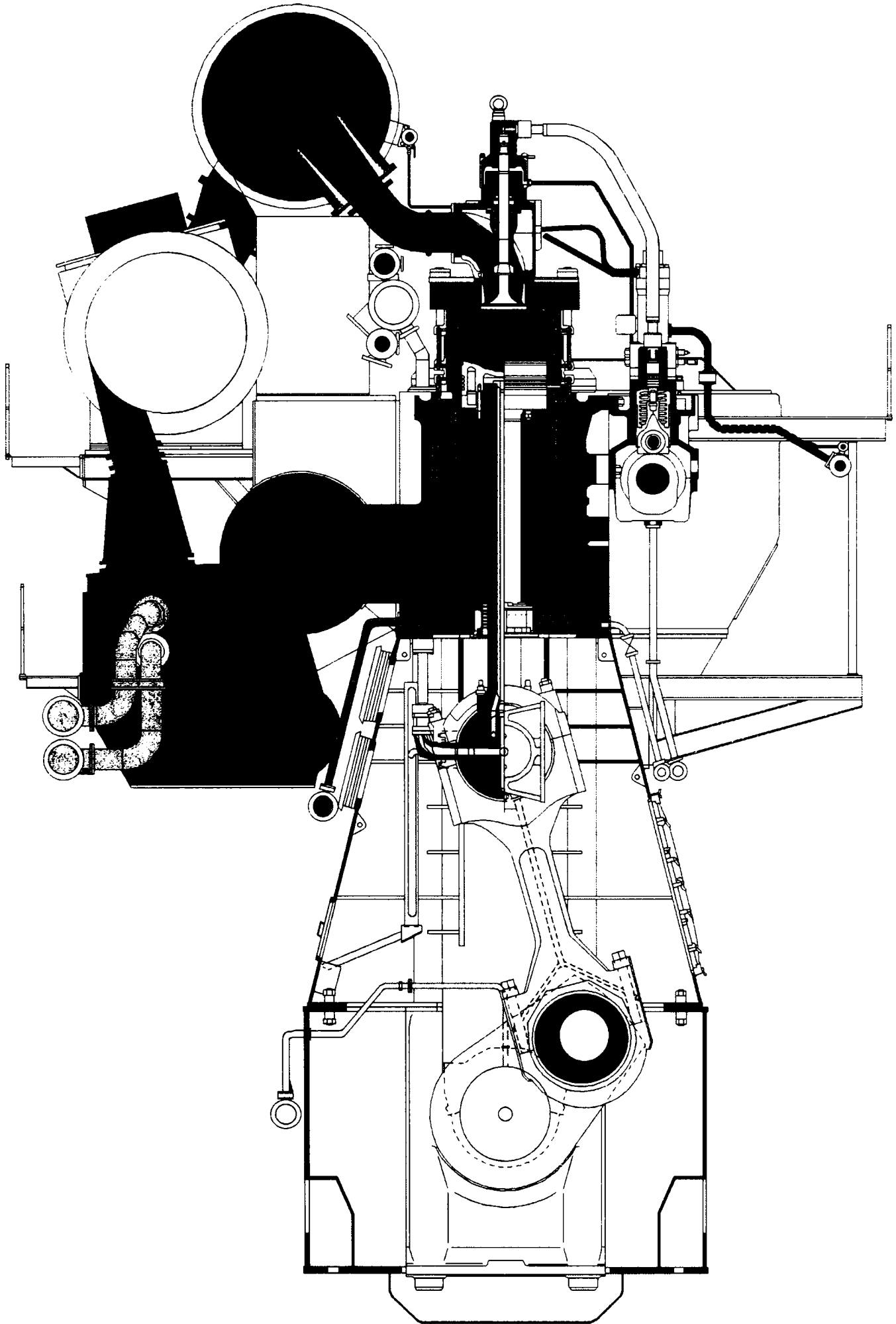


Fig. 1.3 Secțiune prin motorul Diesel MAN B&W, tip S 70 MC

de translație, îndepărtând supapa de scaunul supapei și asigurând astfel deschiderea secțiunii de trecere a gazelor.

Mentținerea supapei de evacuare în poziția închisă este asigurată prin intermediul unui cilindru pneumatic dispus pe tija supapei de evacuare, așa cum se poate observa în figura 1.4.

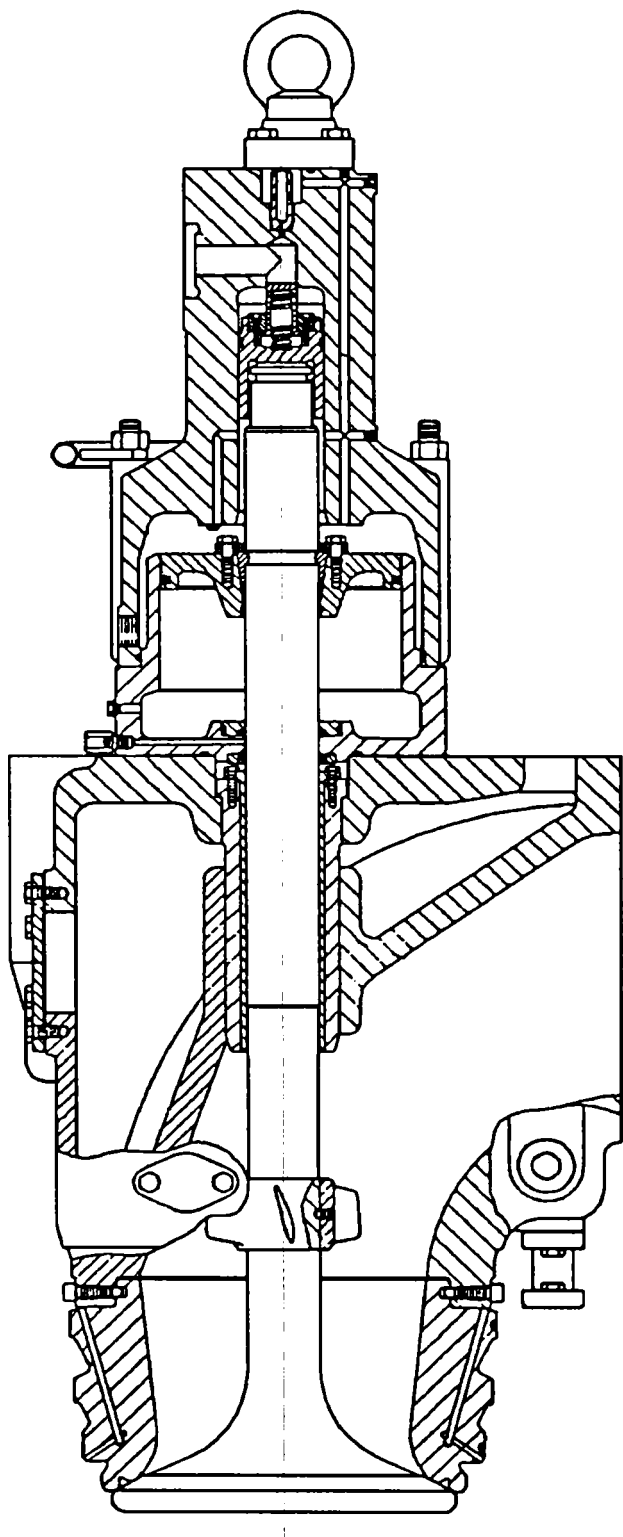


Fig. 1.4 Secțiune prin supapa de evacuare a motorului Diesel MAN B&W, tip S 70 MC

Când tachetul se află în cursa de coborâre, presiunea exercitată de către cilindrul pneumatic asigură deplasarea supapei în sens invers și astfel cantitatea de ulei transmisă de către cilindrul hidraulic al tachelului la cilindrul hidraulic al supapei în timpul cursei de ridicare, este transmisă înapoi.

Pe arborele cu came se află amplasate și camele de injecție ale căror tacheți acționează asupra tijelor pompelor de injecție. Pompa de injecție este amplasată deasupra mecanismului cu camă. Prin deplasarea tijei pompei de injecție se asigură transmiterea unei cantități de combustibil sub presiune la injectoarele aflate pe partea laterală a chiulasei.

La acest tip de motor, ca dealtfel la marea majoritate a motoarelor cu doi timpi, cama de admisie lipsește, admisia aerului în interiorul cilindrului fiind făcută prin intermediul ferestrelor practicate în partea inferioară a cămășii cilindrului.

1.3. Caracteristici ale camelor utilizate în fabricația de motoare Diesel de puteri mari

Motoarele Diesel de putere mică, sub 500 CP, au arborii cu came în construcție monobloc, de regulă dintr-un singur tronson. Așa cum s-a prezentat în subcapitolul 1.2, la motoarele în linie există un singur arbore cu came, iar la motoarele în „V” există doi arbori cu came, câte unul pentru fiecare linie de cilindrii (stânga și dreapta). Datorită faptului că dimensiunile de gabarit ale motorului nu sunt deosebit de mari, permit adoptarea unei soluții constructive pentru arborele cu came monobloc, dintr-un singur tronson. Așa cum este prezentat la subcapitolul 2.1, materialele din care se confecționează arborii cu came trebuie să aibă anumite proprietăți speciale, fiind astfel și costisitoare. La dimensiuni de gabarit relativ mici, posibilitățile de elaborare permit realizarea unui semifabricat, fie turnat, forjat sau laminat, dintr-o singură bucată, care prin prelucrare, fără mari pierderi de material, poate asigura un arbore cu came la un preț de cost relativ scăzut, acceptabil.

Situația este diferită la motoarele Diesel de putere mare, de peste 500 CP, la care adoptarea unei soluții constructive monobloc, dintr-un singur tronson, poate ridica dificultăți tehnologice atât la elaborarea semifabricatelor, cât și la prelucrările mecanice și tratamente termice, fapt care ar conduce la un preț de cost mare, neacceptabil pentru un astfel de arbore. În funcție de cursa tachelului, care indică diferența de la cercul de bază al camei până la vârful camei, se aplică două soluții constructive la realizarea arborelui cu came, și anume:

- cu came individuale, soluție aplicată la arborii cu came ai căror tacheți au curse de peste 20 mm. Acestea sunt montate prin diverse modalități pe un arbore cilindric sau pe mai mulți arbori cilindrici, la rândul lor asamblați între ei;
- arbori cu came monobloc, din tronsoane asamblate între ele, soluție adoptată la arborii cu came a căror tacheți au curse sub 20 mm.

1.3.1. Came individuale

Această soluție este aplicată la toate motoarele Diesel ce depășesc puterea de 4000 CP, indiferent dacă acestea sunt lente sau semirapide, în doi sau patru timpi. Unul din considerentele pentru care s-a adoptat această soluție constructivă este cel de gabarit. Lungimea motoarelor Diesel de 4000 CP depășește 4000 mm, iar la cele de 30000 CP depășește 12000 mm. La aceste lungimi elaborarea semifabricatelor, prelucrarea mecanică și tratamentele termice sunt dificil de executat, necesitând o dotare specială. Din acest motiv s-au aplicat came individuale montate pe arbori. Diametrul fuselor lagărelor arborilor cu came se încadrează între 200 și 400 mm. Ținând cont de faptul că solicitările la care sunt supuse camele sunt diferite față de solicitările la care sunt supuși arborii, se impune utilizarea unor materiale care să corespundă fiecărui tip de solicitare, iar alegerea optimă a acestora necesită utilizarea unor calități de material diferite pentru came și pentru arbore. O problemă rezolvată în mod diferit de proiectanții arborilor cu came este cea a poziționării camei pe arbore, astfel încât să fie asigurată cu exactitatea necesară poziția unghiulară a camei pe arbore.

În figura 1.5 este prezentată componența și construcția unui arbore cu came de la motoarele MAN Burmeister&Wein.

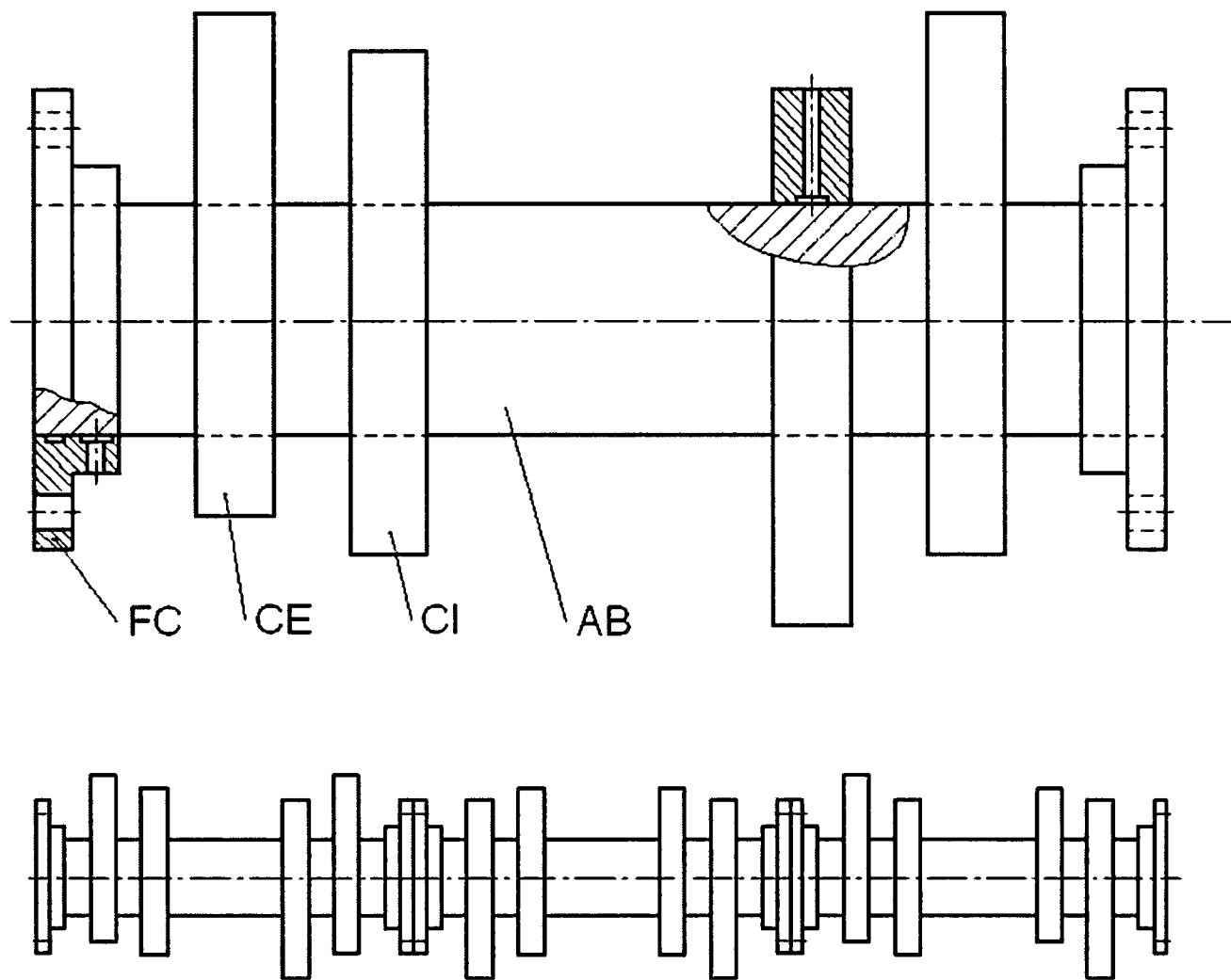
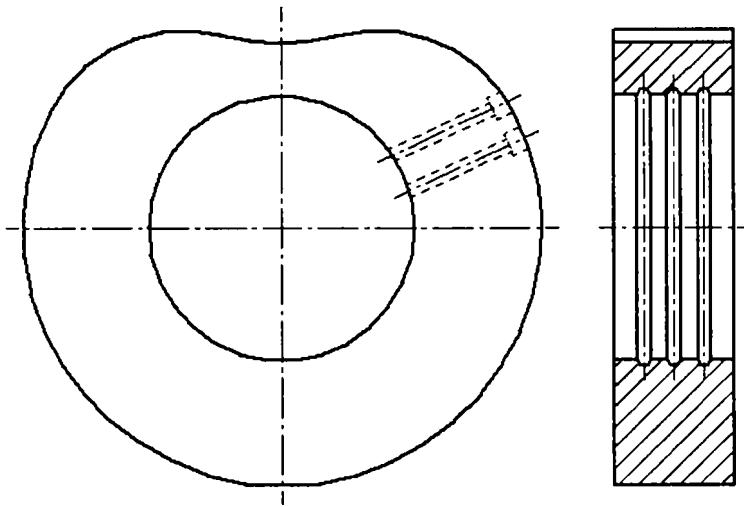


Fig. 1.5 Arbore cu came utilizat la motorele Diesel MAN Burmeister&Wein

Se poate observa că pe arborele AB, sunt montate camele de injecție CI și camele de evacuare CE necesare mecanismului de distribuție pentru doi cilindri. Acestea sunt montate prin fretare, utilizând ajustaje cu strângere. Montarea camelor pe arbore se face, în prima fază într-o poziție aproximativă, după trasaj. La montare, cama se încălzește la 200°C, iar arborele se răcește în azot lichid. În funcție de numărul de cilindri ai motorului, asamblul arbore cu came poate să aibă mai multe tronsoane (2 până la 6), acestea fiind asamblate între ele prin intermediul flanșelor de cuplare FC, care la rândul lor sunt fixate pe arborele AB prin fretare. Montarea lor se face în mod similar cu cea a camelor. În partea de jos a figurii 1.5 este reprezentat un asamblu arbore cu came pentru un motor cu 6 cilindri (3 tronsoane de arbore cu came). Poziționarea finală a camelor pe arborele AB se face după ce asamblul arbore cu came a fost montat în motor, iar motorul a fost pornit pe ștandul de probe. După pornirea motorului pe ștandul de probe, în funcție de încărcarea acestuia, se determină presiunea de ardere în cilindrii, temperaturile gazelor la evacuare și se stabilește corecția necesară ce trebuie făcută la poziția camei pe arbore, atât la cama de evacuare cât și la cea de injecție. Acest lucru se poate executa prin intermediul unei pompe care furnizează ulei sub înaltă presiune în canalele interioare care sunt practicate pe diametrul interior al camei, așa cum se poate observa în figurile 1.6 și 1.7, în care sunt reprezentate camele de injecție, respectiv evacuare ale motorului MAN Burmeister&Wein, tip S 70 MC. Prin acțiunea uleiului sub presiune cama se poate roti și

poziționa cu precizie pe arborele AB, astfel încât parametrii funcționali ai motorului să fie obținuți.

În figurile 1.6 și 1.7 sunt indicate, pe lângă forma constructivă, și principalele caracteristici ale camelor.



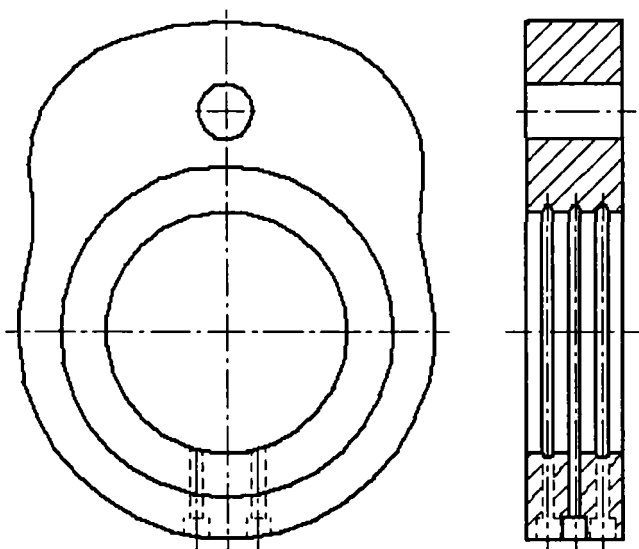
CARACTERISTICI:

- Tip: montată
- Diametru de montaj: 280 mm
- Diametru de bază: 406 mm
- Cursa tachelului: 76,2 mm
- Lățime: 105 mm
- Material: 17 MoCrNi 14
- Tratament termic: călire și revenire
- Duritate: 58 - 62 HRC

Observatii :

- Montare, reglare și fixare prin fretare hidraulică.

Fig. 1.6 Cama de injecție a motorului Diesel MAN B&W, tip S 70 MC



CARACTERISTICI:

- Tip: montată
- Diametru de montaj: 280 mm
- Diametru de bază: 406 mm
- Cursa tachelului: 98 mm
- Lățime: 105 mm
- Material: 17 MoCrNi 14
- Tratament termic: călire și revenire
- Duritate: 58 - 62 HRC

Observatii :

- Montare, reglare și fixare prin fretare hidraulică.

Fig. 1.7 Cama de evacuare a motorului Diesel MAN B&W, tip S 70 MC

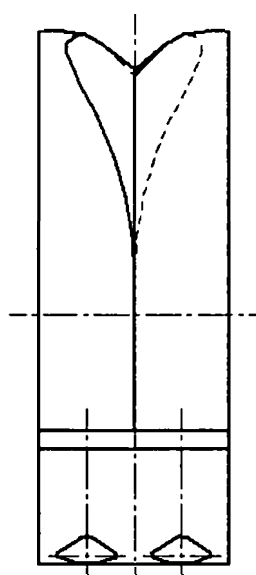
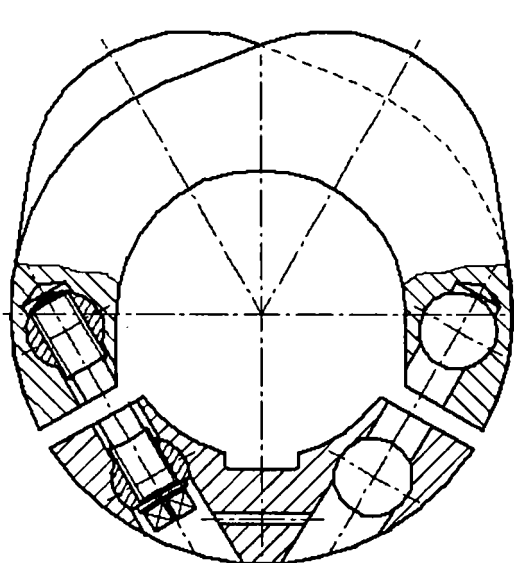
Arborele pe care sunt montate camele, precum și flanșele de cuplare, nefiind solicitate la presiune de contact și la uzare, ci numai la torsiune și la încovoiere sunt executate din oțel carbon de calitate OLC 35, îmbunătățit. Se asigură astfel asamblului arbore cu came, caracteristicile mecanice necesare pentru o bună funcționare. Flanșele de cuplare sunt prevăzute cu canale asemănătoare cu cele ale camelor, realizând în mod asemănător poziționarea exactă a acestora pe arbore. Această soluție constructivă este avantajoasă și în cazul în care una dintre came trebuie înlocuită, în eventualitatea că nu mai corespunde din cauza uzării. Demontarea se efectuează în ordine inversă montării, utilizând pompa de înaltă presiune care este livrată odată cu motorul.

Forma constructivă a camelor care s-au luat în considerare de la motoarele MAN Burmeister&Wein este aceeași, diferind numai dimensiunile, acestea fiind prezentate în tabelul 1.2

Tabelul 1.2

Caracteristici	Tip motor			
	L 42 MC		L 35 MC	
	Injecție	Evacuare	Injecție	Evacuare
Diametrul de montaj	154 mm		125 mm	
Diametrul de bază	244 mm		190 mm	184 mm
Înălțarea	45,5 mm	58 mm	39,5 mm	47 mm
Lățimea	63 mm		45 mm	
Material	17 MoCrNi14		17 MoCrNi14	
Tratament termic	Cementare, călire, revenire		Cementare, călire, revenire	

La motoarele Diesel tip MAN (motoare lente) s-a aplicat o altă soluție constructivă, arborele pe care sunt montate camele de injecție fiind monobloc, iar camele fiind prevăzute cu plan de separație.



CARACTERISTICI:

- Tip: montată din două bucăți
- Diametru de montaj: 224 mm
- Diametru de bază: 400 mm
- Cursa tacherului: 61 mm
- Lățime: 2 x 110 = 220 mm
- Material: 18 MnCr 10
- Tratament termic: cementare, călire și revenire
- Duritate: 62 - 64 HRC

Observatii :

- Montarea se face cu ajutorul jugului, prin pană; fixarea și reglarea prin șuruburi și bdțuri.

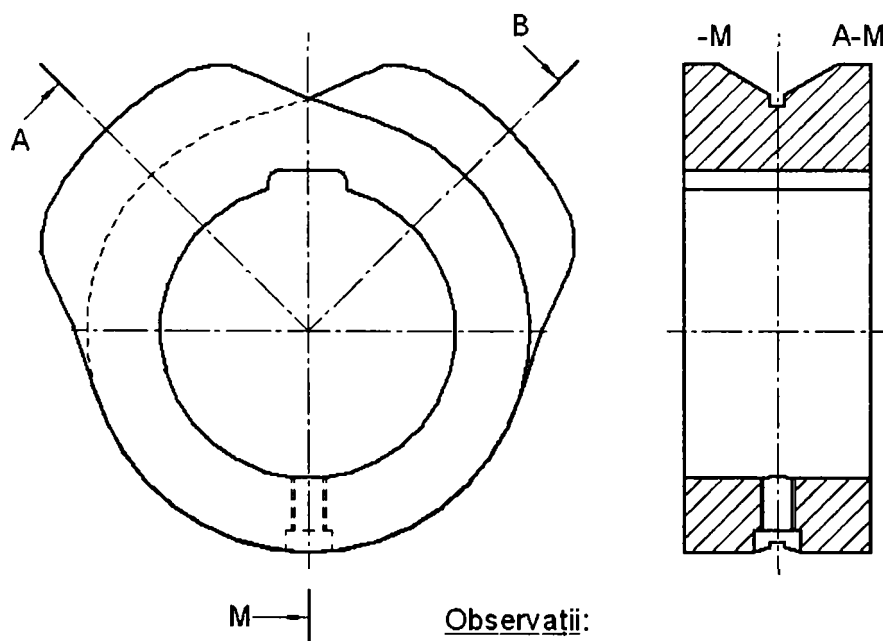
Fig. 1.8 Cama de injecție a motorului Diesel MAN , tip KSZ 90/160A

Cele două părți ale camei de injecție, figura 1.8, sunt asamblate cu șuruburi, poziționarea camelor pe arbore fiind realizată prin intermediul penelor. Cama este dublă, având două zone profilate, pentru a asigura funcționarea motorului în ambele sensuri de rotație. Aceste motoare fiind destinate propulsiei navelor maritime, necesită funcționare în ambele sensuri de rotație pentru a putea executa manevrele de mers înainte și înapoi. Pentru a realiza acest deziderat, la inversarea sensului de rotație întregul ansamblu arbore cu came execută o deplasare axială, astfel încât a doua parte profilată a camei intră în contact cu rola tchetului. Pentru a ușura trecerea rolei tchetului de pe una din părțile profilate pe celaltă parte, ambele porțiuni profilate sunt teșite. Motoarele lente, în doi timpi, tip MAN nu au came de evacuare, atât admisia cât și evacuarea realizându-se prin ferestrele practicate în cămașa cilindrului. La celelalte tipuri de motoare lente MAN, forma constructivă este aceeași cu cea prezentată în figura 1.8, dimensiunile și celelalte caracteristici fiind prezentate în tabelul 1.3

Tabelul 1.3

Caracteristici	Tip motor	
	KSZ 70/150 CLe	KSZ 52/105 CLe
	Cama de injecție	Cama de injecție
Diametrul de montaj	200 mm	170 mm
Diametrul de bază	390 mm	304 mm
Înălțarea	60 mm	40 mm
Lățimea	2x115 = 230 mm	2x77 = 154 mm
Material	18 MnCr10	18 MnCr10
Tratament termic	Cementare, călire, revenire	Cementare, călire, revenire

La motoarele semirapide, în patru timpi, tip MAN, cama de injecție este asemănătoare ca și construcție cu cea prezentată în figura 1.8. Dimensiunile caracteristice acestor came sunt prezentate în tabelul 1.4.



Observații:

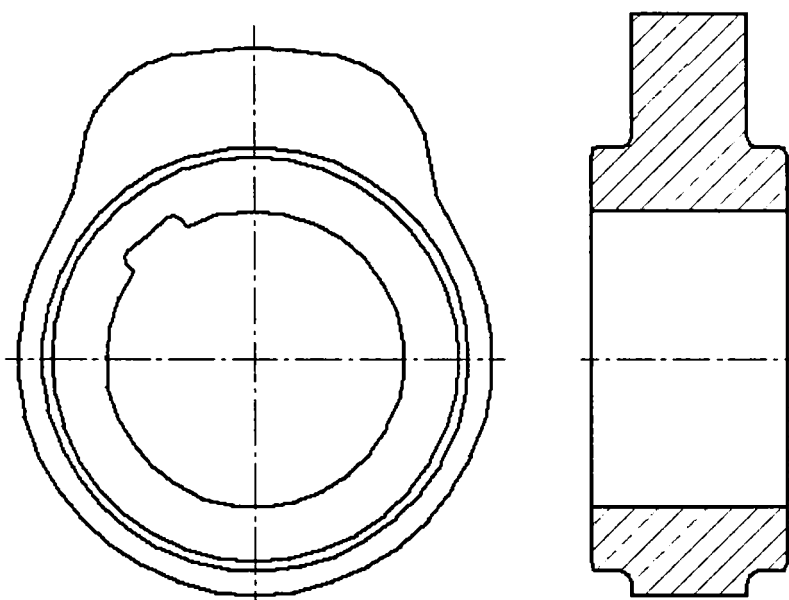
- Montare prin fretare și pană.

CARACTERISTICI:

- Tip: montată
- Diametru de montaj: 140 mm
- Diametru de bază: 210 mm
- Cursa tchetului: 30 mm
- Lățime: 114 mm
- Material: 18 MoCrNi 13
- Tratament termic: cementare, călire și revenire
- Duritate: 59 - 65 HRC

Fig. 1.9 Cama de admisie- evacuare a motorului Diesel MAN , tip 52/55A reversibil

Pe lângă camele de injecție, la aceste tipuri de motoare sunt montate pe arbore cu came și camele de admisie și evacuare. Construcția acestora este prezentată în figura 1.9. Fixarea pe arbore se face prin fretare iar poziționarea unghiulară prin intermediul unei asamblări cu pană. Ca și în cazul motoarelor lente, în situația în care motorul are ca destinație propulsia navală, acesta trebuie să funcționeze în ambele sensuri de rotație. Aceste motoare nu au destinație exclusivă propulsia navală, fiind utilizate și în cadrul unor ansambluri grup Diesel generator, situație în care motorul nu trebuie să funcționeze în ambele sensuri de rotație. Cama prezentată în figura 1.10 este o camă de admisie - evacuare pentru același tip de motor dar nereversibil.



CARACTERISTICI:

- Tip: montată
- Diametru de montaj: 140 mm
- Diametru de bază: 208 mm
- Cursa tachetului: 31 mm
- Lățime: 40/85 mm
- Material: 18 MnCr 11
- Tratament termic: cementare, călire și revenire
- Duritate: 60 - 64 HRC

Observatii :

- Montarea prin fretare și pană.

Fig. 1.10 Cama de admisie- evacuare a motorului Diesel MAN , tip 52/55A nereversibil

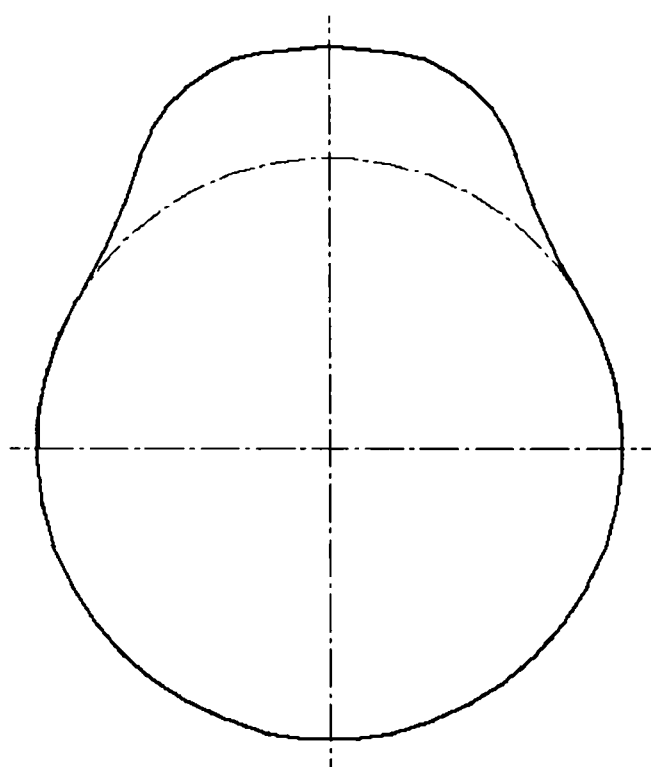
Caracteristicile dimensionale ale camelor de la celelalte tipuri de motoare semirapide MAN sunt prezentate în tabelul 1.4.

Tabelul 1.4

Caracteristici	Tip motor			
	52/55 A		40/54 A	
	Injecție	Admisie Evacuare	Injecție	Admisie Evacuare
Diametrul de montaj	138 mm	140 mm	125 mm	125 mm
Diametrul de bază	235 mm	208 mm	220 mm	192 mm
Înălțarea	32 mm	31 mm	28 mm	26 mm
Lățimea	2x64 = 128 mm		2x44 = 88 mm	
Material	18MoCrNi13	18 MnCr10	18MnCr10	OLC 15
Tratament termic	Cementare, călire, revenire		Cementare, călire, revenire	

1.3.2. Arbori cu came monobloc

La motoarele Diesel cu puteri sub 4000 CP, ținând cont de faptul că tachelul nu are o cursă foarte mare, se aplică soluția constructivă de arbore cu came monobloc. Lungimea arborilor fiind mare, pentru a evita complicațiile tehnologice, s-a adoptat de către toți constructorii de motoare, asamblarea arborilor din tronsoane. Tronsoanele de regulă conțin camele pentru doi cilindrii, asigurând astfel și posibilitatea de-a asambla diferiți arbori cu came, pentru diferite variante de motoare, cu 4, 6, 8, 12, 16, 18 și 20 de cilindrii, în funcție de cerințele beneficiarilor. Am luat în considerare un motor relativ mare pentru care s-a adoptat varianta monobloc, respectiv motorul pentru tracțiune feroviară tip R251, licență ALCO, ale cărui came de injecție și admisie evacuare sunt prezentate în figura 1.11 respectiv 1.12. Se poate observa că din motive de gabarit construcția acestuia cu came individuale ar fi dificil de realizat.



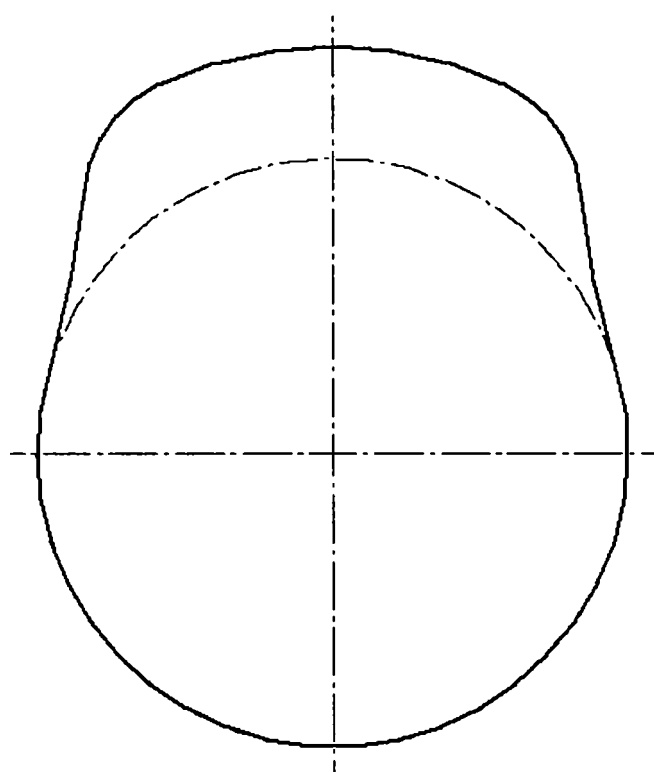
CARACTERISTICI:

- Tip: monobloc
- Diametru de bază: 82.75 mm
- Cursa tachelului: 14.99 mm
- Lățime: 38 mm
- Material: OLC 50 xN
- Tratament termic: călire superficială (CIF)
- Duritate: 58 -62 HRC

Fig. 1.11 Cama de injecție a motorului Diesel, tip R251

Prin alegerea corespunzătoare a calității de material, care să permită obținerea caracteristicilor mecanice necesare bunei funcționări a arborelui cu came și care să poată fi elaborat în condiții normale, se justifică adoptarea arborelui cu came monobloc. În exemplul prezentat, calitatea de material, OLC 50XN, se poate aproviziona de pe piața materialelor ca bară laminată. Pornind de la o bară laminată cu diametru de 130 mm se pot executa tronsoanele de arbore în conformitate cu desenele de execuție.

Din punct de vedere tehnic, această calitate de material asigură, în urma normalizării, caracteristici mecanice corespunzătoare unei bune comportări a arborelui la solicitările de torsiune și încovoiere, precum și capacitatea de preluare a șocurilor care pot apărea în funcționarea motorului. Profilul camelor poate fi durificat prin călire superficială cu curenți de înaltă frecvență, conferind astfel duritatea necesară preluării eforturilor rezultate din presiunea de contact existentă între suprafața profilată a camei și rola tachelului.



CARACTERISTICI:

- Tip: monobloc
- Diametru de bază: 79,45 mm
- Cursa tachetului: 16,64 mm
- Lățime: 32 mm
- Material: OLC 50 xN
- Tratament termic: călire superficială (CIF)
- Duritate: 58 -62 HRC

Fig. 1.12 Cama de admisie-evacuare a motorului Diesel, tip R251

La construcția monobloc a arborilor cu came, o atenție deosebită trebuie acordată poziției unghiulare a camelor, abaterile de la poziția unghiulară nefiind posibil de corectat, ceea ce este un dezavantaj față de construcția arborilor cu came individuale.

Deasemenea, asamblarea tronsoanelor trebuie astfel concepută și realizată, încât decalajul unghiular dintre camele existente pe tronsoane diferite să se încadreze în limitele prevăzute de documentația de execuție. Abaterile care apar din cauza unei asamblări defectoase nu mai pot fi corectate prin reglaje pe ștandul de probe.

În figura 1.13 este prezentată soluția de asamblare a tronsoanelor arborelui cu came de la motorul R251. Prin intermediul alezajelor de știft și al știfturilor montate în planul de separație al flanșelor se asigură poziționarea unghiulară a tronsoanelor. La prelucrarea profilului camelor, baza de centrare la divizarea unghiulară a camelor o constituie alezajul de știft prin, intermediul căreia se poziționează tronsoanele unele față de altele.

La prelucrare trebuie avut în vedere și faptul că între cercul de bază al camei și fusurile lagărelor trebuie să fie respectată concentricitatea. Dacă aceasta nu este respectată, se introduc, în afară de bătăi radiale ale cercului de bază al camei, și abateri de la traiectoria teoretică a tachetului, ceea ce poate provoca o funcționare necorespunzătoare a motorului.

Asamblarea trebuie făcută în condiții speciale, asigurând strângerea organelor de asamblare la momentul de torsiune prescris, cu ajutorul cheilor dinamometrice. O asamblare necorespunzătoare poate aduce ansamblul arbore cu came în situația de a nu asigura o funcționare corespunzătoare a motorului, chiar dacă toate tronsoanele de arbori cu came sunt executate în toleranțele prescrise.

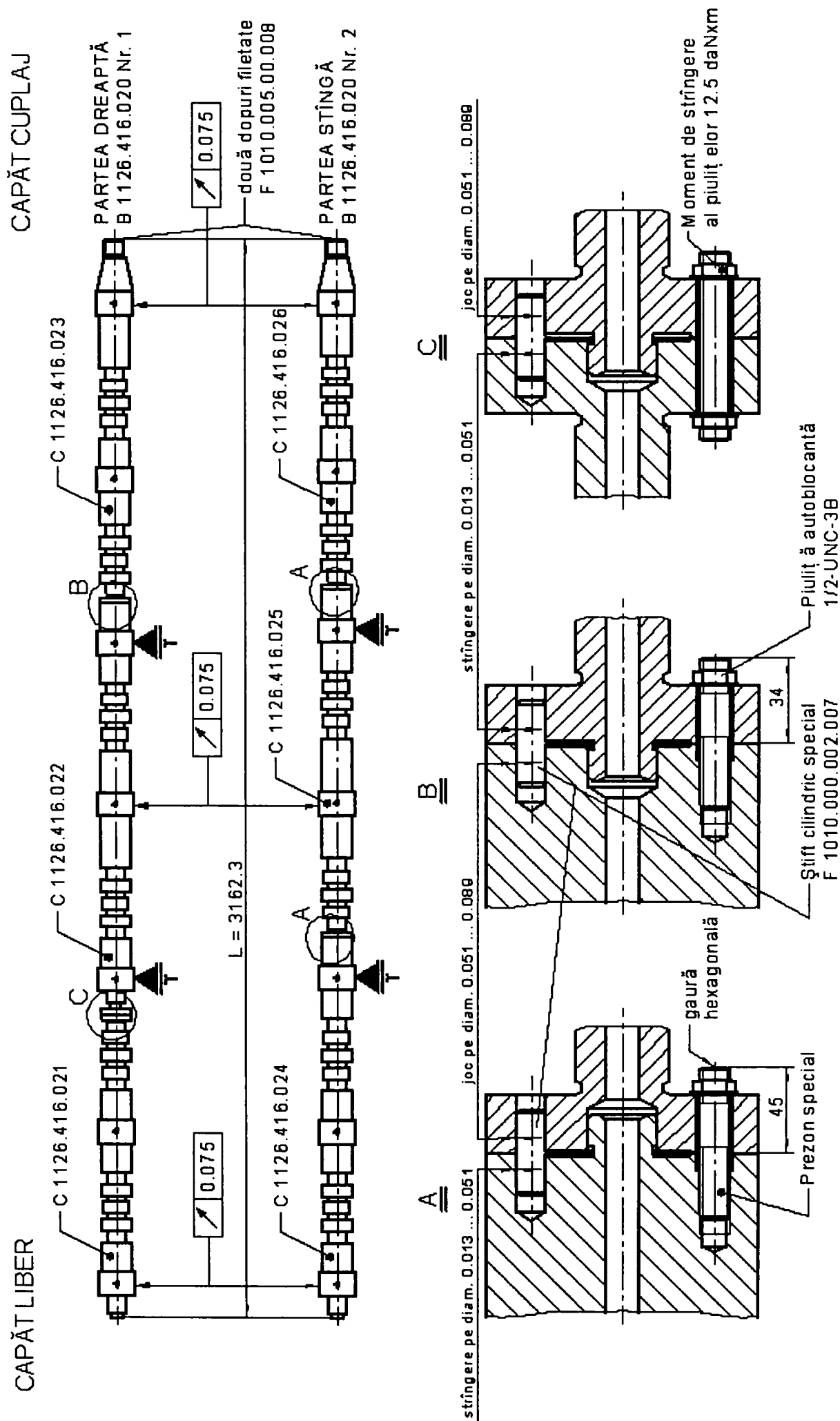


Fig. 1.13 Ansamblul arbore cu came al motorului Diesel, tip R251

Capitolul 2. STADIUL ACTUAL AL TEHNOLOGIEI DE PRELUCRARE A CAMELOR PLANE

2.1. Sinteza analitică a camelor plane utilizate la motoarele Diesel de mare putere

Proiectarea mecanismului de distribuție, pe baza unei legi de mișcare a supapei optimizată, este efectuată cu scopul de a conferi acestuia calități superioare atât în privința procesului gazodinamic, cât și în ceea ce privește regimul dinamic de funcționare. Pentru aceasta, se urmărește realizarea unei corelații între parametri funcționali ai motorului, parametri constructivi ai mecanismului de distribuție și parametri legii de mișcare. Realizarea unei distribuții corespunzătoare presupune și asigurarea unor condiții de siguranță în funcționare și durabilitate [48].

Funcționarea fără șocuri dure sau elastice a mecanismelor cu came plane folosite la sistemul de distribuție și la cel de injecție al motoarelor Diesel de mare putere, fabricate pentru tracțiune feroviară sau navală, este un obiectiv major.

Realizarea unui asemenea deziderat presupune ca proiectantul să facă sinteza dimensională a camei pornind de la selectarea unor legi de mișcare ale tchetului în concordanță cu eficiența maximă a procesului de distribuție sau injecție, cu absența teoretică a șocurilor și cu o tehnologie de fabricație extrem de elaborată, care să asigure abateri minime posibile ale profilului final al camei în raport cu profilul teoretic, ideal proiectat.

Pe cale analitică ecuația profilului teoretic (p_T) al camei se poate determina considerând schema și notațiile din figura 2.1, în care este reprezentat mecanismul cu camă plană rotativă și tchet excentric având mișcare de translație. Se admite o poziție oarecare corespunzătoare unui unghi de rotație φ al camei la cursa de ridicare a tchetului. Tchetul are reprezentată poziția la începutul cursei de ridicare cu linie întreruptă, aceasta acceptându-se ca direcție a ordonatei Ay , care împreună cu abscisa Ax formează sistemul ortogonal de referință xAy , solitar cu cama.

Dând întregului ansamblu camă-tchet o viteză unghiulară fictivă inversă ($-\omega_1$), cama se imobilizează, iar tchetul împreună cu ghidajul său va ocupa la un

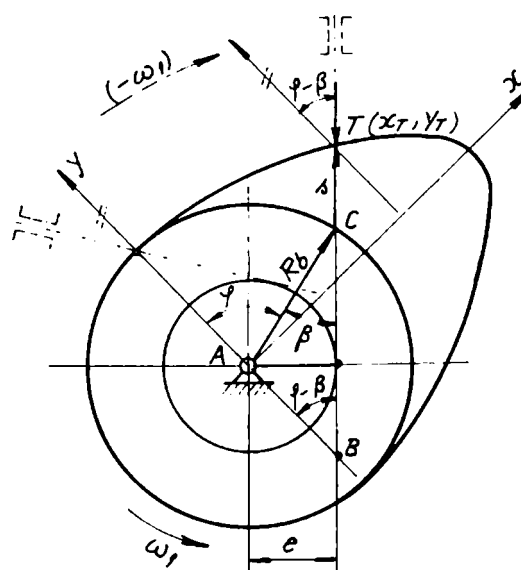


Fig. 2.1 Schemă pentru determinarea ecuației profilului teoretic al camei

moment dat poziția trasată cu linie continuă. Cu T s-a notat punctul caracteristic al tachelului, care reprezintă vârful tachelului sau centru rolei cilindrice.

Se observă că ecuațiile parametrice care dau coordonatele punctului caracteristic T al tachelului în raport cu sistemul rectangular de axe xAy sunt:

$$(p_T) \begin{cases} x_T = R_b \cdot \sin \varphi + s \cdot \sin(\varphi - \beta), \\ y_T = R_b \cdot \cos \varphi + s \cdot \cos(\varphi - \beta). \end{cases} \quad (2.1)$$

- În care:
- R_b este raza cercului de bază al camei;
 - s reprezintă cursa tachelului;
 - φ este unghiul de rotație al camei;
 - β este unghiul format de direcția de translație a tachelului și raza cercului de bază al camei.

Din triunghiul dreptunghic ADC se observă că:

$$\beta = \arcsin \frac{e}{R_b} \quad (2.2)$$

Pentru mecanismul cu camă plană rotativă și tachel centric având mișcare de translație $e = 0$, iar $\beta = 0$, iar coordonatele punctului caracteristic T sunt:

$$(p_T) \begin{cases} x_T = (R_b + s) \cdot \sin \varphi; \\ y_T = (R_b + s) \cdot \cos \varphi. \end{cases} \quad (2.3)$$

Profilul real (p_R) al camei se obține calculând coordonatele x și y ale unui punct curent pe înfășurătoarea pozițiilor succesive ale rolei cilindrice de rază r . Dacă se notează cu $F(x,y,\varphi) = 0$ ecuația familiei de cercuri de parametru φ , atunci coordonatele unui punct curent pe înfășurătoarea acestei familii de cercuri sunt soluții ale sistemului de ecuații:

$$(p_R) \begin{cases} F(x, z, \varphi) = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial \varphi} = 0. \end{cases} \quad (2.4)$$

Ecuația familiei de cercuri de rază r și cu centrele în punctul caracteristic T (x_T, y_T) este:

$$F : (x - x_T)^2 + (y - y_T)^2 = r^2 \quad (2.5)$$

iar:

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi} : 2(x - x_T) \cdot \frac{\partial x_T}{\partial \varphi} + 2(y - y_T) \cdot \frac{\partial y_T}{\partial \varphi} = 0$$

sau:

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi} : 2(x - x_T) \cdot x_T' + 2(y - y_T) \cdot y_T' = 0 \quad (2.6)$$

care se pune sub forma:

$$x - x_T = -(x - x_T) \cdot \frac{x_T'}{y_T'} \quad (2.7)$$

Introducând (2.7) în (2.5), și rezultatul în (2.6) se obțin ecuațiile care permit explicitarea coordonatelor carteziene ale unui punct curent de pe profilul real (p_R) al camei, adică ecuațiile parametrice ale profilului real al camei:

$$(p_R) \begin{cases} x = x_T + \frac{r \cdot y_T'}{[x_T'^2 + y_T'^2]^{\frac{1}{2}}}, \\ y = y_T - \frac{r \cdot x_T'}{[x_T'^2 + y_T'^2]^{\frac{1}{2}}}. \end{cases} \quad (2.8)$$

Dacă se ține seama de ecuațiile parametrice profilului teoretic (p_T) al camei, date de (2.1) rezultă că derivatele parțiale x_T' și y_T' au expresiile:

$$\begin{cases} x_T' = \frac{\partial x_T}{\partial \varphi} = R_b \cdot \cos \varphi + \frac{v}{\omega_1} \cdot \sin(\varphi - \beta) + s \cdot \cos(\varphi - \beta), \\ y_T' = \frac{\partial y_T}{\partial \varphi} = -R_b \cdot \sin \varphi + \frac{v}{\omega_1} \cdot \cos(\varphi - \beta) - s \cdot \sin(\varphi - \beta). \end{cases} \quad (2.9)$$

în care $\frac{v}{\omega_1} = \frac{ds}{d\varphi}$ este viteza redusă.

Pentru ca rola tachelului să urmărească corect profilul camei, raza acesteia trebuie să fie mai mică decât raza de curbură minimă a profilului real. Raza de curbură ρ , a profilului real al camei se determină cu relația:

$$\rho = \frac{[x'^2 + y'^2]^{\frac{3}{2}}}{x' \cdot y'' - y' \cdot x''} \quad (2.10)$$

Calculând raza de curbură pentru cât mai multe puncte de pe profil, se determină valoarea minimă.

La stabilirea legii de mișcare a tachelului se acordă o atenție specială limitării forțelor de inerție ce acționează asupra sa și a maselor mobile legate de tachel. Adică se impun condiții dinamice privind legea de variație a accelerației tachelului, sau a derivatelor sale în raport cu timpul.

Forțele de inerție fiind proporționale cu accelerațiile, variația bruscă a accelerației se reflectă prin variația bruscă a forței de inerție ce acționează asupra tachelului. Adică, apar șocuri cu efecte negative asupra cinematicii, dinamicii și fiabilității mecanismului cu camă.

Din teoria selecției optimizate a legii de mișcare a tachelului [1; 6; 7] se reține faptul că o lege de mișcare adimensională generalizată fără șocuri și fără simetrii la mijloc de cursă se poate obține pornind de la polinomiala generalizată de forma:

$$y = C_p x^p + C_q x^q + C_r x^r + C_s x^s + \dots, p < q < r < s < \dots \quad (2.11)$$

Coeficienții necunoscuți din ecuația (2.11) se determină cu relațiile de recurență generalizate:

$$\left. \begin{aligned} C_p &= \frac{q \cdot r \cdot s \dots}{(q-p) \cdot (r-p) \cdot (s-p) \dots}; C_q = \frac{p \cdot r \cdot s \dots}{(p-q) \cdot (r-q) \cdot (s-q) \dots}; \\ C_r &= \frac{p \cdot q \cdot s \dots}{(p-r) \cdot (q-r) \cdot (s-r) \dots}; C_s = \frac{p \cdot q \cdot r \dots}{(p-s) \cdot (q-s) \cdot (r-s) \dots}. \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

Făcând o primă alegere care conduce la asimetrii favorabile ale legii de mișcare a tachelului se acceptă: $p = 4$, $q = 8$, $r = 12$ și $s = 16$, iar cu relațiile (2.12) se obțin valorile coeficienților:

$$\left. \begin{aligned} C_4 &= \frac{8 \cdot 12 \cdot 16}{(8-4) \cdot (12-4) \cdot (16-4)} = 4; C_8 = \frac{4 \cdot 12 \cdot 16}{(4-8) \cdot (12-8) \cdot (16-8)} = -6; \\ C_{12} &= \frac{4 \cdot 8 \cdot 16}{(4-12) \cdot (8-12) \cdot (16-12)} = 4; C_{16} = \frac{4 \cdot 8 \cdot 12}{(4-16) \cdot (8-16) \cdot (12-16)} = -1. \end{aligned} \right\} (2.13)$$

Cu aceste mărimi ale coeficienților, ecuația polinomială adimensională (2.11) ia forma:

$$y = 4x^4 - 6x^8 + 4x^{12} - x^{16} \quad (2.14)$$

Prima, a doua și a treia derivată dau legile de mișcare adimensionale pentru viteze, accelerații și respectiv șocuri, având expresiile următoare:

$$y' = 16x^3 - 48x^7 + 48x^{11} - 16x^{15} \quad (2.15)$$

$$y'' = 48x^2 - 336x^6 + 528x^{10} - 240x^{14} \quad (2.16)$$

$$y''' = 96x - 2016x^5 + 5280x^9 - 3360x^{13} \quad (2.17)$$

Se observă că la capetele cursei active (de ridicare) a tachelului pentru $x = 0$ și $x = 1$, din relațiile (2.15), (2.16) și (2.17), se obțin valori nule pentru viteza, accelerația și șocul adimensional.

Aceste derivate se pot reprezenta grafic pentru cursa de ridicare a tachelului dacă variabila independentă ia succesiv valorile de pe intervalul $x = [0;1]$, așa cum este reprezentat în figurile 2.2, 2.3, 2.4 și 2.5.

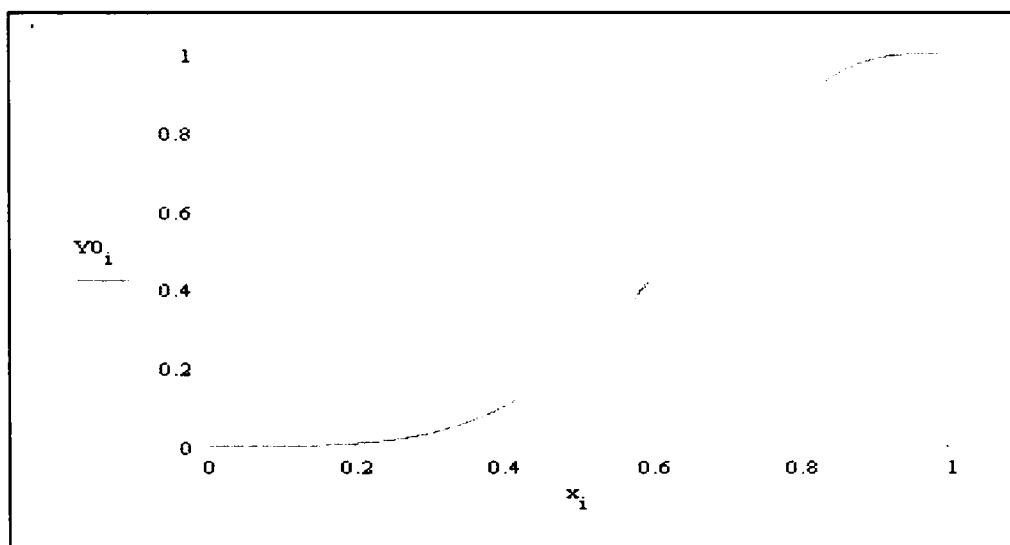


Fig.2.2 Deplasarea adimensională a tachelului la cursa de ridicare pentru polinomiala de gradul 16

În literatura de specialitate [1; 70] se estimează că prin creșterea gradului polinomialei adimensionale se obține o reducere a posibilității de apariție a șocurilor elastice și s-au încercat sinteze ale camelor plane cu polinomiale până la gradul 50.

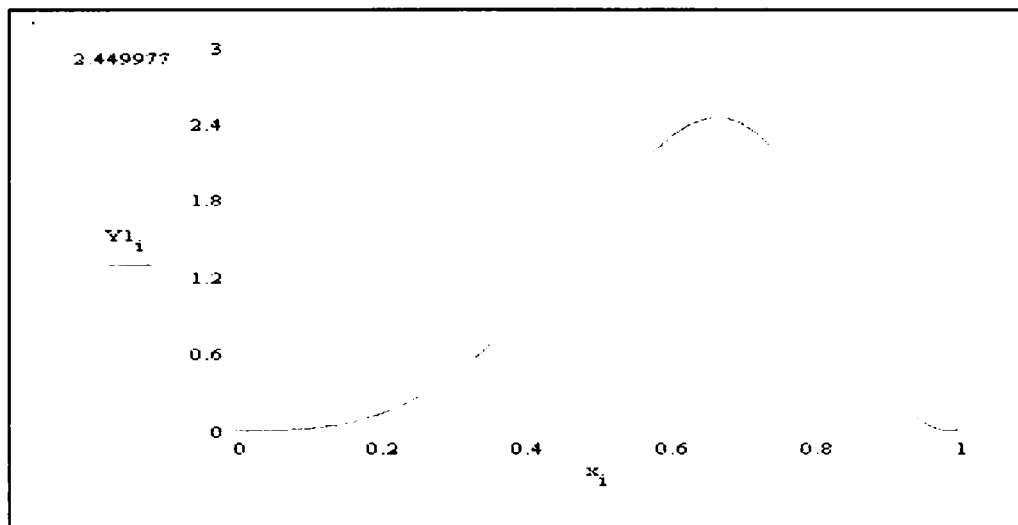


Fig. 2.3 Viteza adimensională a tachetului la cursa de ridicare, pentru polinomiala de gradul 16

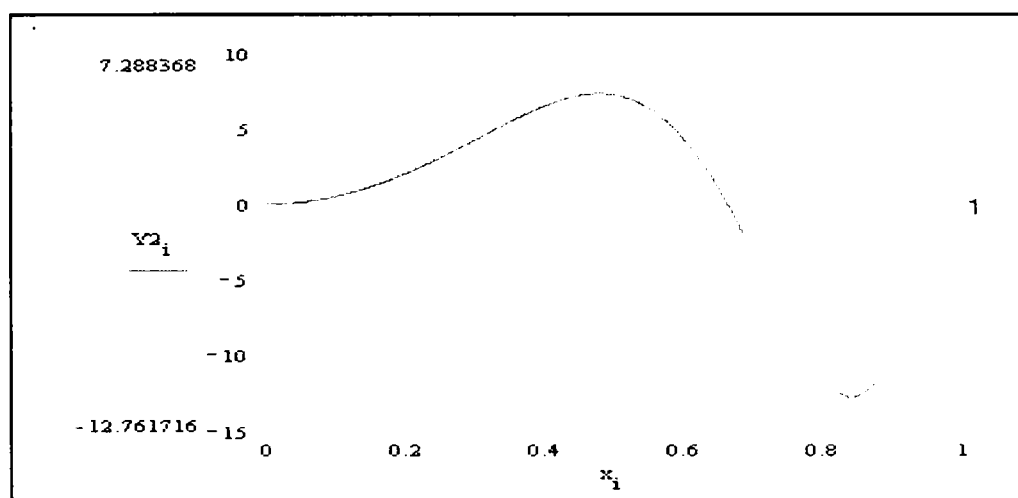


Fig. 2.4 Accelerația adimensională a tachetului la cursa de ridicare, pentru polinomiala de gradul 16

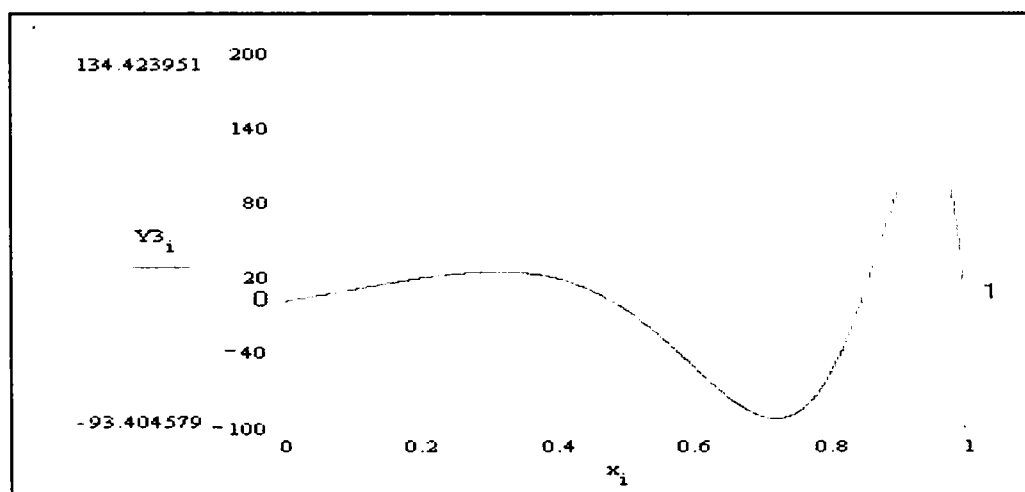


Fig. 2.5 Șocul adimensional al tachetului la cursa de ridicare, pentru polinomiala de gradul 16

Se face o tentativă de alegere a unei legi de mișcare adimensionale de gradul 56. Astfel se aleg exponenții acestei polinomiale cu mărimile: $p = 14$; $q = 28$; $r = 42$; $s = 56$.

Cu relațiile generalizate (2.12) se obțin coeficienții:

$$C_{14} = \frac{28 \cdot 42 \cdot 56}{(28-14) \cdot (42-14) \cdot (56-14)} = 4; C_{28} = \frac{14 \cdot 42 \cdot 56}{(14-28) \cdot (42-28) \cdot (56-28)} = -6;$$

$$C_{42} = \frac{14 \cdot 28 \cdot 56}{(14-42) \cdot (28-42) \cdot (56-42)} = 4; C_{56} = \frac{14 \cdot 28 \cdot 42}{(14-56) \cdot (28-56) \cdot (42-56)} = -1. \quad (2.18)$$

Cu mărimile coeficienților dați de relațiile (2.18), ecuația polinomială adimensională (2.11) ia forma:

$$y = 4x^{14} - 6x^{28} + 4x^{42} - x^{56} \quad (2.19)$$

S-a obținut o lege de mișcare a tchetului de gradul 56, iar prin derivări succesive rezultă legile de mișcare adimensionale pentru viteză, accelerație și șoc, sub formele:

$$y' = 56x^{13} - 168x^{27} + 168x^{41} - 56x^{55} \quad (2.20)$$

$$y'' = 728x^{12} - 4536x^{26} + 6888x^{40} - 3080x^{54} \quad (2.21)$$

$$y''' = 8736x^{11} - 117936x^{25} + 275520x^{39} - 166320x^{53} \quad (2.22)$$

Legile de mișcare adimensionale ale tchetului cu polinomiala (2.19), de gradul 56 se prezintă în figurile 2.6, 2.7, 2.8 și 2.9.

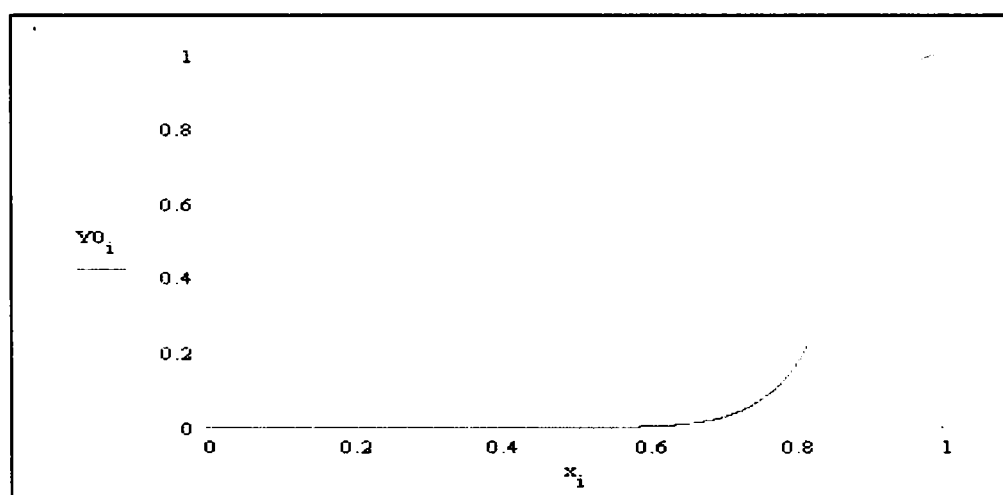


Fig.2.6 Deplasarea adimensională a tchetului pentru polinomiala de gradul 56

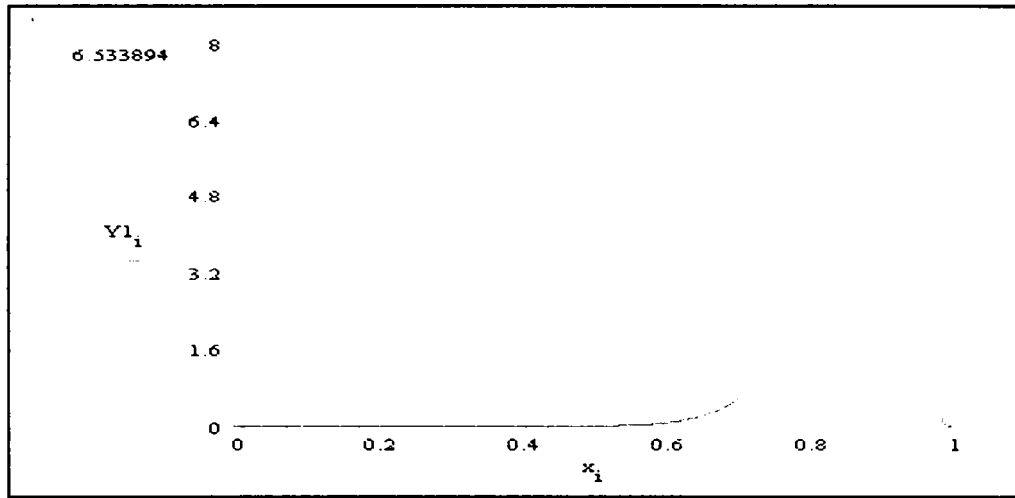


Fig. 2.7 Viteza adimensională a tachetului pentru polinomiala de gradul 56

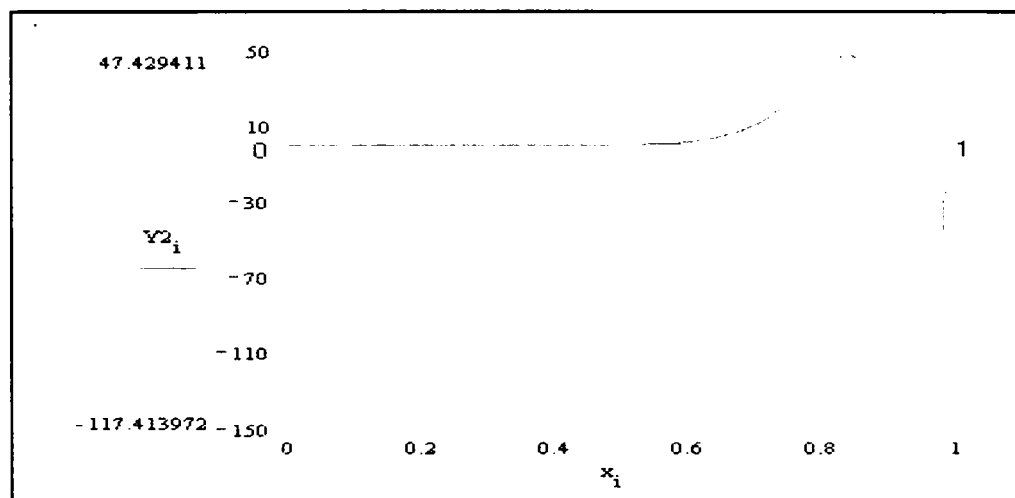


Fig. 2.8 Accelerația adimensională a tachetului pentru polinomiala de gradul 56

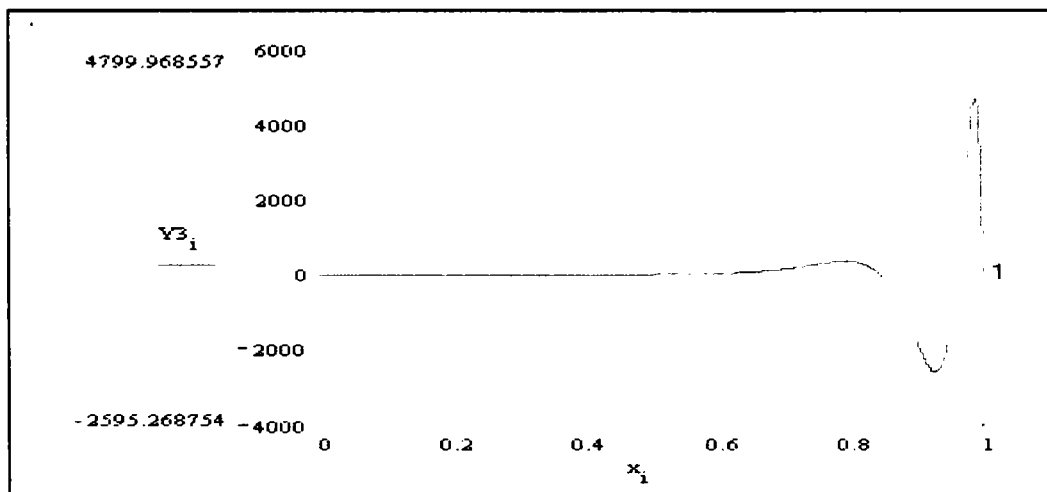


Fig. 2.9 Șocul adimensional al tachetului pentru polinomiala de gradul 56

Se repetă etapele de calcul pentru o lege de mișcare adimensională polinomială de gradul 100, acceptând exponenții: $p = 25$; $q = 50$; $r = 75$ și $s = 100$. Programând calculele algebrice necesare în limbajul MATHCAD și cu relațiile generalizate (2.12) se obțin coeficienții:

$$C_{25} = \frac{50 \cdot 75 \cdot 100}{(50 - 25) \cdot (75 - 25) \cdot (100 - 25)} = 4; C_{50} = \frac{25 \cdot 75 \cdot 100}{(25 - 50) \cdot (75 - 50) \cdot (100 - 50)} = -6; \tag{2.23}$$

$$C_{75} = \frac{25 \cdot 50 \cdot 100}{(25 - 75) \cdot (50 - 75) \cdot (100 - 75)} = 4; C_{100} = \frac{25 \cdot 50 \cdot 75}{(25 - 100) \cdot (50 - 100) \cdot (75 - 100)} = -1.$$

Deplasarea adimensională este:

$$y = 4x^{25} - 6x^{50} + 4x^{75} - x^{100} \tag{2.24}$$

Viteza, accelerația și șocul adimensional au expresiile:

$$y' = 100x^{24} - 300x^{49} + 300x^{74} - 56x^{99} \tag{2.25}$$

$$y'' = 2400x^{23} - 14700x^{48} + 22200x^{73} - 9900x^{98} \tag{2.26}$$

$$y''' = 5200x^{22} - 705600x^{47} + 1620600x^{72} - 970200x^{97} \tag{2.27}$$

Legile de mișcare adimensionale ale tachelului cu polinomiala (2.24), de gradul 100 se prezintă în figurile 2.10, 2.11, 2.12 și 2.13;

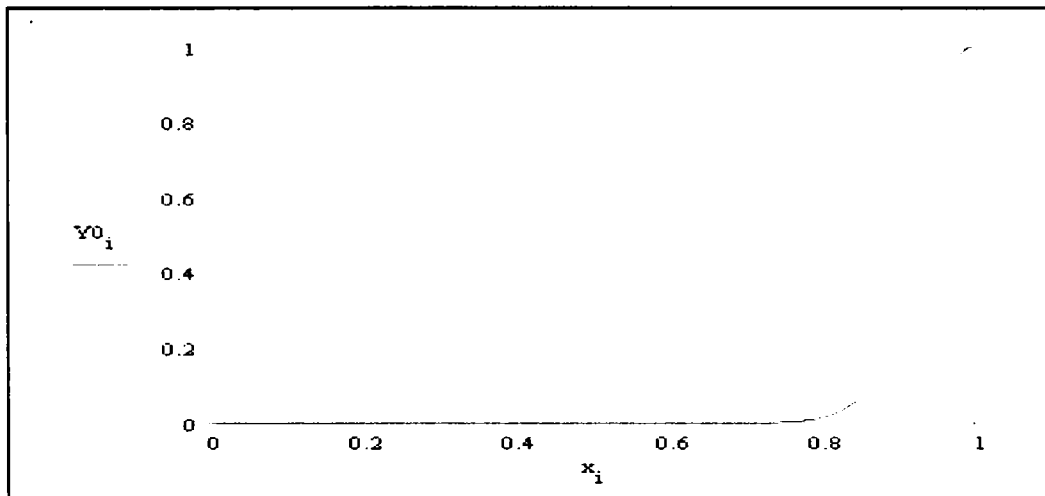


Fig. 2.10. Deplasarea adimensională a tachelului pentru polinomiala de gradul 100

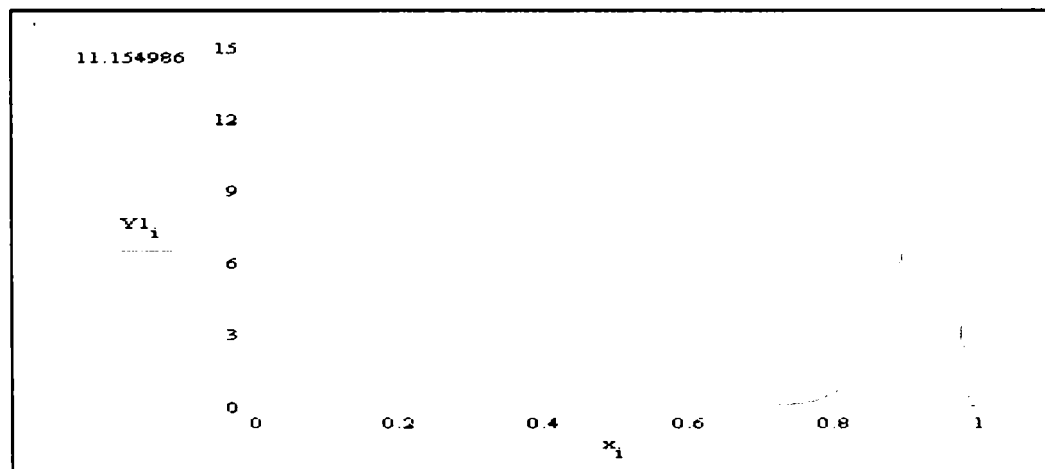


Fig. 2.11 Viteza adimensională a tachelului pentru polinomiala de gradul 100

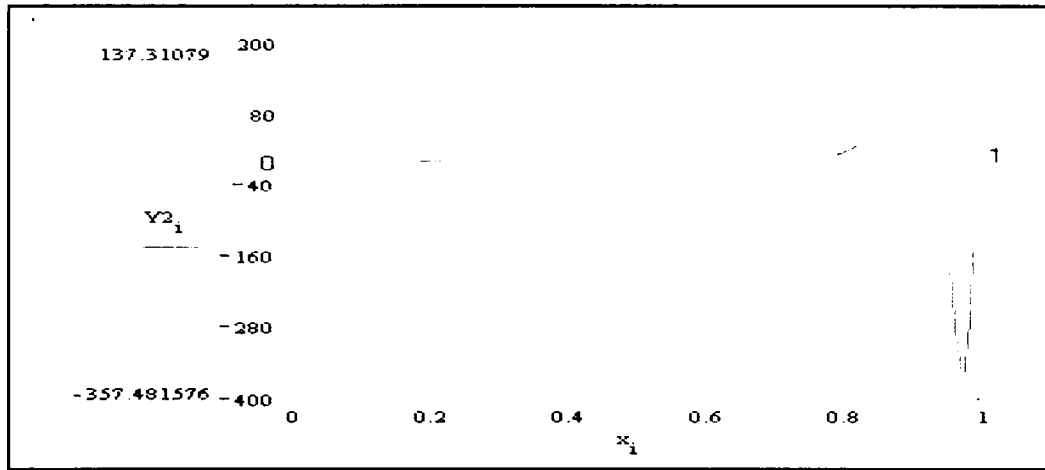


Fig. 2.12 Accelerația adimensională a tchetului pentru polinomiala de gradul 100

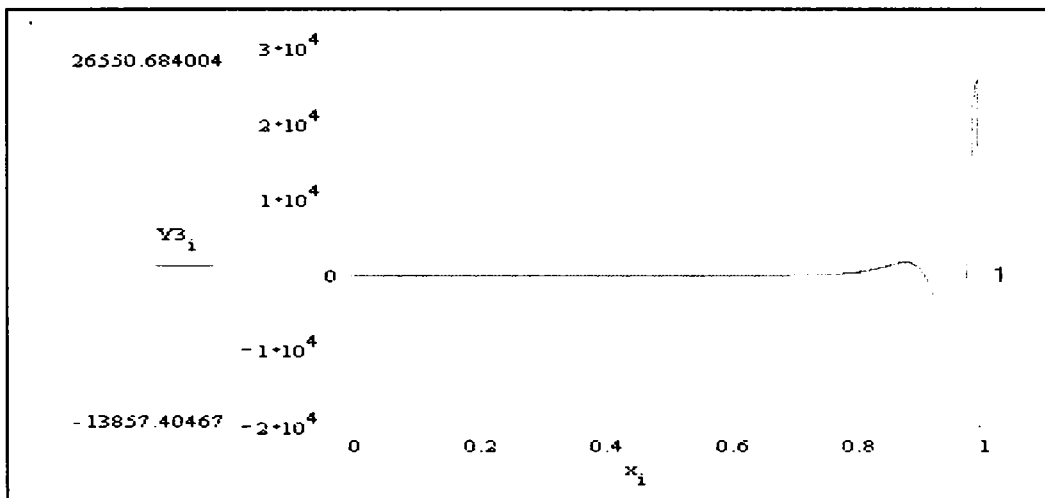


Fig. 2.13 Șocul adimensional al tchetului pentru polinomiala de gradul 100

Legile de mișcare reale ale tchetului se pot obține din relațiile deplasărilor adimensionale (2.14), (2.19) și (2.24) înlocuind variabilele x și y cu expresiile lor:

$$x = \frac{\varphi}{\varphi_1}; y = \frac{s}{h} \tag{2.28}$$

în care: φ este unghiul de rotație momentan al camei; φ_1 – unghiul de rotație al camei corespunzător cursei de ridicare a tchetului; s – deplasarea momentană a tchetului; h – cursa tchetului.

Spre exemplu pentru legea de mișcare adimensională a polinomiala de gradul 16, relațiile (2.28) introduse în expresia (2.14), conduce la deplasarea reală:

$$s = \frac{h}{\varphi_1^{16}} \cdot [4\varphi_1^{12} \varphi^4 - 6\varphi_1^8 \varphi^8 + 4\varphi_1^4 \varphi^{12} - \varphi^{16}] \tag{2.29}$$

Derivând succesiv în raport cu timpul ecuația (2.29) se obțin ecuațiile vitezei reduse (v/ω_1) și accelerației reduse a tchetului (a/ω_1^2), care permit trasarea diagramelor acestor parametri cinematici în funcție de unghiul de rotație al camei pentru cursa de ridicare a tchetului.

Dacă se face o analiză a curbelor ce reprezintă variația parametrilor adimensionali ai tchetului mecanismului cu camă, din figurile 2.2, 2.3, ..., 2.13, obținute prin programul MATHCAD, dezvoltat pentru polinomiala 16, 56 și 100 pentru cursa de ridicare se pot face mai multe observații referitoare la:

- deplasarea adimensională și viteza adimensională sunt legi dorite de proiectanți având valori nule la capetele cursei și nu prezintă simetrii în raport cu mijlocul cursei;
- accelerațiile adimensionale sunt adecvate, nule la capetele cursei și fără simetrii, iar amplitudinile maxime cresc de la -12,76 la polinomiala de gradul 16, la -117,41 (de 9,2 ori mai mari) pentru polinomiala de gradul 56 și la -357,48 (de 28 ori mai mari) pentru polinomiala de gradul 100.
- șocurile adimensionale sunt adecvate, nule la capetele cursei și fără simetrii, iar amplitudinile maxime cresc de la 134,424 la polinomiala de gradul 16, la 4799,9 (de 35,7 ori mai mari) pentru polinomiala de gradul 56 și la 26550,68 (de 197,5 ori mai mari) pentru polinomiala de gradul 100.

Aceste concluzii contravin unor estimări referitoare la obținerea unor avantaje dinamice la creșterea gradului polinomialei adimensionale alese de proiectant. Se observă că polinomiala de gradul 16 se comportă mai avantajos decât cea de gradul 56 și mult mai bine decât cea de gradul 100.

2.2. Materiale, semifabricate și tratamente termice primare pentru came individuale și pentru arbori cu came

Stabilirea calității materialelor din care se execută camele este o problemă complexă, deoarece, mecanismele cu came sunt supuse unor solicitări combinate, fiind puternic solicitate. Proprietățile mecanice, care stau la baza alegerii materialului, se determină în funcție de solicitările mecanice de bază: statică, dinamică, variabilă. Mecanismele cu came sunt supuse la presiune de contact, precum și la solicitări de încovoiere și torsiune[2].

Funcționarea mecanismelor cu came este însoțită uneori de șocuri, care apar sub forma unor lovituri puternice între tachet și camă. Șocul apare la modificarea bruscă a mărimii sau a direcției forței de contact dintre camă și tachet. Această modificare poate avea loc ca urmare a variației bruște a forței de rezistență tehnologică și/sau a forței de inerție. Forța de inerție este proporțională cu accelerația tachetului, deci, în locurile unde în diagrama accelerației tachetului apar variații bruște, vor apărea șocuri[39].

Luând în considerare aspectele prezentate mai sus, următoarele considerente sunt determinante în alegerea materialelor care se utilizează la confecționarea cuplei camă-tachet:

- Contactul dintre camă și tachet este un contact liniar, numit contact de tip hertzian. Contactul redus dintre camă și tachet conduce la tensiuni ridicate. Solicitarea de contact se calculează prin determinarea tensiunii hertziene, cu relația:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{N \left(\frac{1}{\rho_c} \pm \frac{1}{\rho_r} \right)}{2 \cdot \pi \cdot b \cdot (1 - \mu^2) \cdot \left(\frac{1}{E_c} + \frac{1}{E_r} \right)}} \quad (2.30)$$

în care:

- **N** este forța normală în punctul sau suprafața de contact dintre camă și rola tachetului;
- **b** este lățimea camei;
- **E_c** și **E_r** sunt modulele de elasticitate ale camei, respectiv ale tachetului;

- μ este coeficientul lui Poisson, cu valoarea de 0,3, considerat același pentru ambele materiale;
- ρ_C și ρ_T sunt razele de curbură a camei respectiv a tachelului, în zona de contact.

Semnul plus se folosește în cazul când ambele profile sunt convexe, iar semnul minus atunci când rola tachelului este în contact cu profilul concav al camei.

Pentru aplicații, formula de mai sus se poate scrie și sub o formă mai simplă:

$$\sigma_k = 0.418 \cdot \sqrt{\frac{R_{12} \cdot E}{\rho \cdot L}} \quad (2.31)$$

unde:

- R_{12} – este reacțiunea dintre camă și tachel;
- L - este lungimea liniei teoretice de contact dintre camă și tachel (lățimea zonei de contact) măsurată perpendicular pe planul de mișcare;
- E – este modulul de elasticitate echivalent. Acesta se calculează cu relația:

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_C} + \frac{1}{E_T} \right) \quad (2.32)$$

- ρ - este raza de curbură echivalentă a cuplei cinematice camă-tachel, care se calculează cu relația:

$$\rho = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\rho_C} + \frac{1}{\rho_T} \right) \quad (2.33)$$

De dorit ar fi ca gabaritul camei să fie cât mai mic, deoarece la fabricarea mecanismului cu camă consumul de material este redus, deasemenea și consumul de manoperă, iar, spațiul necesar funcționării mecanismului cu camă este mai mic, acest deziderat stând la baza stabilirii razei cercului de bază și după aceea a profilului camei.

Pentru a limita lățimea de contact, având ca scop reducerea gabariturii mecanismului cu camă, se aleg materiale cu rezistența admisibilă de contact ridicată, atât pentru camă cât și pentru tachel.

- În timpul funcționării mecanismului cu camă pot să apară șocuri, ceea ce necesită utilizarea unor materiale tenace, care pe lângă rezistență la rupere, să aibă și o valoare mai ridicată pentru gătuire (Z) și reziliență (KCU). Reziliența dă indicații valoroase cu privire la capacitatea materialului de a nu se rupe fragil, ci (eventual) de a curge plastic sub acțiunea unor tensiuni localizate de valoare ridicată. Ținând cont și de faptul că viteza de aplicare a sarcinii este mare în cazul mecanismelor cu came, se recomandă alegerea unor materiale cu reziliență ridicată.
- La alegerea materialului din care se va confecționa cama trebuie avut în vedere și faptul că, mecanismele cu came sunt supuse la solicitări variabile în timp, ciclice, așadar criteriul de bază va fi rezistența la oboseală. Trebuie să se țină seama de unii factori metalurgici: compoziție chimică, puritate, adâncime de călire și microstructură. Incluziunile nemetalice micșorează sensibil rezistența la oboseală, deci pentru elementele ce formează cupla cinematică superioară a mecanismului cu camă se vor alege materiale cu puritate garantată. Adâncimea de călire este importantă pentru stabilirea

durabilității în condiții de oboseală și se vor prefera oțeluri cu adâncime mică de călire.

- Criteriul de uzare trebuie avut deasemenea în vedere, deoarece cupla cinematică a mecanismului cu camă este o cuplă de frecare, a cărei durabilitate depinde de alegerea cât mai judicioasă a materialelor din care se execută elementele cuplei de frecare. În această situație se recomandă ca suprafețele ce sunt supuse uzării să fie cât mai dure. Dar, ținând cont că arborii cu came sunt supuși unei solicitări combinate de încovoiere și torsiune, trebuie acordată o atenție specială corelației dintre duritatea stratului superficial și duritatea miezului. Pentru a reduce frecarea în cazul tacheților cu rolă, aceasta se poate cupra, astfel ca prin depunerea galvanică a unui strat de cupru se mărește durabilitatea cuplei de frecare.
- Prelucrabilitatea este un alt criteriu ce trebuie respectat, elementele cuplei cinematice superioare fiind obținute în general prin așchiere. Prin prelucrabilitatea prin așchiere a unui material se înțelege acea proprietate tehnologică ce se referă la capacitatea acestuia de a suporta prelucrări prin așchiere în condiții cât mai avantajoase pentru producător. Se consideră că un material este ușor prelucrabil prin așchiere atunci când este posibilă utilizarea unor viteze mari de așchiere, dar cu cheltuieli minime de scule, cu solicitări mecanice și energetice reduse, cu obținerea unei rugozități optime a suprafeței prelucrate.

Condițiile ce trebuie îndeplinite de materialele din care este confecționată cupla de frecare camă-tachet sunt influențate de anumiți factori, principalii fiind duritatea și gradul de netezire al suprafeței. Acești factori sunt legați de calitatea suprafețelor de contact ce formează cupla de frecare.

Ținând cont de condițiile concrete în care lucrează mecanismul cu camă și de criteriile enumerate mai sus, se face alegerea calității materialului din care se execută cama și tachetul. Se pot enumera următoarele materiale, mai des utilizate:

-oțel carbon de calitate:

- pentru cementare: OLC 10, OLC 15, OLC 20;

- pentru călire prin curenți de înaltă frecvență: OLC 50, OLC 55, OLC 60.

- oțeluri aliate:

- pentru cementare: 18MnCr10, 17MoCrNi14, 17MoCr06, 13CrNi30;

- pentru îmbunătățire: 34MoCrNi16, 34MoCr11, 30MoCrNi20, 35Mn16.

- fonte cu grafit nodular: Fgn 450-5, Fgn 420-12.

- fonte cenușii cu grafit lamelar: Fc 250, Fc 300.

Stabilirea semifabricatelor se face în funcție de calitatea materialului din care se confecționează cama, precum și în funcție de seria de fabricație.

Pentru camele executate din oțel semifabricatele sunt:

- bare laminate, în cazul arborilor monobloc;
- table laminate, în cazul camelor individuale;
- forjate liber;
- matrițate.

Semifabricatele laminate sunt utilizate în cazul fabricării camelor din oțeluri carbon de calitate, dacă nu există prescripția specială a proiectantului, prin care să recomande semifabricat forjat.

În cazul camelor fabricate din oțel aliat se utilizează, de regulă, semifabricate forjate liber, în producția de unicate și semifabricate matrițate în producția de serie.

Camele sau arborii cu came din fontă necesită semifabricate obținute prin turnare în cochilie.

Alegerea semifabricatului se face în urma unui calcul economic, ce ține seama în mod special de numărul de came sau arbori cu came ce trebuie executați, și de forma constructivă a acestora.

Prin intermediul tratamentelor termice se urmărește dobândirea unor caracteristici fizico-mecanice, chimice sau tehnologice ale materialului din care este executată cama. În cadrul operațiilor de tratament termic, prin încălziri și răciri dirijate, se influențează echilibrul fizic, chimic sau structural al materialului. Rezultatul obținut poate avea ca efect înlăturarea tensiunilor interne și restabilirea echilibrului fizico-mecanic, omogenizarea din punct de vedere chimic a materialului sau îmbunătățirea prelucrabilității[16].

Tratamentele termice primare aplicate camelor sunt recoacerea și normalizarea. Aceste tratamente au ca scop corectarea sau înlăturarea completă a unor defecte sau tensiuni remanente, provocate de prelucrările anterioare la cald sau la rece și de a asigura o structură care să confere desfășurarea în mai bune condiții a operațiilor următoare. De aceea, în funcție de calitatea materialului din care este confecționată cama și de modul de elaborare a semifabricatului se alege tratamentul termic primar.

Recoacerea de detensionare este un tratament termic primar ce se aplică arborilor cu came confecționați din fontă, semifabricatul fiind obținut prin turnare. Ținând cont de forma complexă a arborilor cu came, tensiunile rămase după turnare pot avea valori de până la 70 % din rezistența la încovoiere a materialului. În urma prelucrărilor mecanice, prin distrugerea echilibrului acestor tensiuni apar deformații, iar pentru a preveni și diminua aceste efecte, după turnare sau după prelucrarea de degroșare se aplica recoacerea de detensionare.

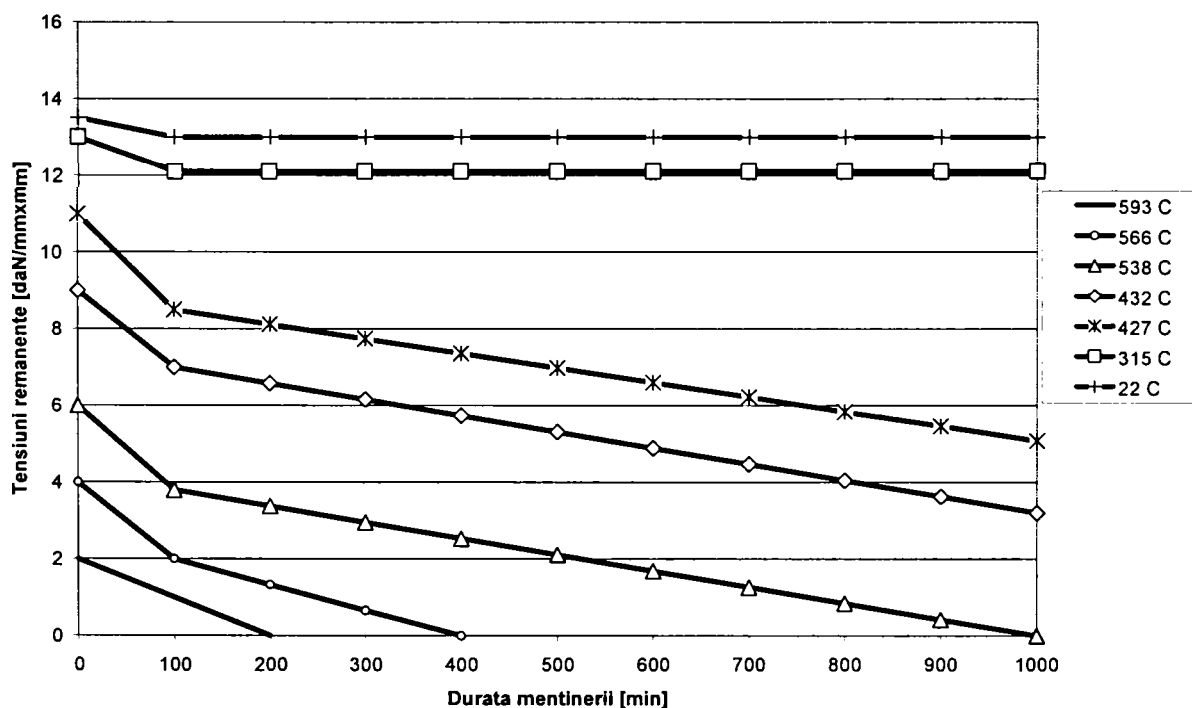


Fig. 2.14 Influența temperaturii de încălzire și a duratei de menținere asupra tensiunilor remanente la detensionare

Regimul termic trebuie ales cu grijă, deoarece odată cu creșterea temperaturii și duratei de menținere tensiunile se reduc, cum rezultă și din figura 2.14, însă trebuie impuse limitări, determinate de apariția unor efecte nedorite, nefavorabile. Acesta este fenomenul de grafitizare, rezultat ca urmare a descompunerii perlitului cu formare de grafit, care poate micșora duritatea și rezistența la uzare a materialului din care este confecționat arborele cu came. De asemenea, creșterea temperaturii poate conduce la apariția unor deformații peste limitele acceptabile.

Pentru a evita acest fenomen, se aplică arborelui cu came turnat, detensionarea prin vibrații. Prin această metodă se obțin rezultate spectaculoase, astfel într-un timp mai scăzut, tensiunile se reduc considerabil și, în plus, rezistența materialului crește față de cazul detensionării clasice prin încălzire.

Normalizarea se aplică, la fel ca și tratament termic primar, semifabricatelor din oțel carbon sau din oțeluri slab aliate ce au fost obținute prin forjare, în scopul refacerii și finisării structurii, precum și al îmbunătățirii prelucrabilității prin așchiere. Camele individuale sunt, de regulă, obținute prin forjare, în cazul camelor individuale de dimensiuni mici, iar dacă se necesită un număr mai mare, sunt forjate în matrită. În cazul camelor individuale se impune, de regulă, un semifabricat forjat liber. De asemenea, normalizarea se aplică și semifabricatelor laminate. De exemplu, în cazul în care semifabricatul pentru un arbore cu came este o bară laminată la cald, sau pentru came individuale de dimensiuni mari, când semifabricatele sunt decupate autogen din tablă laminată. În acest ultim caz, prin normalizare este regenerată și finisată structura materialului în zona influențată termic.

2.3 Procedee de prelucrare primară a profilului camelor

În funcție de forma geometrică, de natura și dimensiunile semifabricatului, de calitatea materialului din care este confecționată cama sau arborele cu came și nu în ultimul rând de numărul de bucăți, se stabilește itinerariul tehnologic pe care semifabricatul trebuie să îl parcurgă pentru a deveni piesă finită, respectiv camă individuală sau arbore cu came. Indiferent de considerentele particulare care stau la baza stabilirii cu exactitate a itinerarului tehnologic, acesta trebuie să cuprindă, în principiu, următoarele operații:

- prelucrarea bazelor de centrare și fixare;
- controlul nedistructiv în vederea depistării defectelor materialului;
- prelucrarea primară a profilului camei;
- tratament termic primar;
- reprelucrarea bazelor de centrare și fixare;
- rectificarea primară a profilului camelor;
- tratament termic secundar;
- reprelucrarea bazelor de centrare și fixare;
- rectificarea finală a profilului camelor;
- control nedistructiv;
- control dimensional final.

Pe lângă aceste principale operații pot exista și operații specifice fiecărui tip de camă sau arbore cu came. Prima operație specifică prelucrării profilului camelor este prelucrarea primară a profilului camelor. La această operație se poate trece numai după ce bazele de centrare și fixare au fost prelucrate, cu adaos de prelucrare, iar semifabricatul este pregătit pentru control nedistructiv. Controlul nedistructiv care se

efectuează în această fază, este controlul cu ultrasunete, având scopul de a evita introducerea în procesul de prelucrare a acelor semifabricate care prezintă defecte de material, provenite din faza de elaborare.

Procedeele pe prelucrare utilizate pentru prelucrarea primară a profilului camelor pot fi:

- strunjirea prin copiere, aplicată în cazul prelucrării camelor de pe arborii cu came monobloc;
- frezarea prin copiere sau prin conturare cu ajutorul comenzii numerice, aplicate în cazul prelucrării camelor individuale;
- rectificarea prin copiere sau conturare cu ajutorul comenzii numerice, aplicată atât la camele individuale cât și la arborii cu came monobloc, cu scopul uniformizării adaosului de prelucrare.

2.3.1 Prelucrarea prin strunjire – copiere

Suprafețele generate prin strunjire sunt, de regulă, suprafețe de revoluție obținute prin compunerea mișcării de rotație a piesei, care asigură directoare circulară, cu mișcarea de avans a sculei care asigură formarea curbei generatoare. Strungurile dotate cu sisteme de copiere permit generarea suprafețelor de revoluție profilate, prin copierea curbei generatoare materializate pe șablon sau pe piesa-model. Un caz particular de prelucrare prin copiere pe strunguri este cel denumit "copiere nerotundă", întâlnit la prelucrarea pieselor cu directoare necirculară, cum este și cazul strunjirii prin copiere al camelor. În acest caz, curba directoarea este profilul camei iar generatoarea este, de regulă, rectilinie.

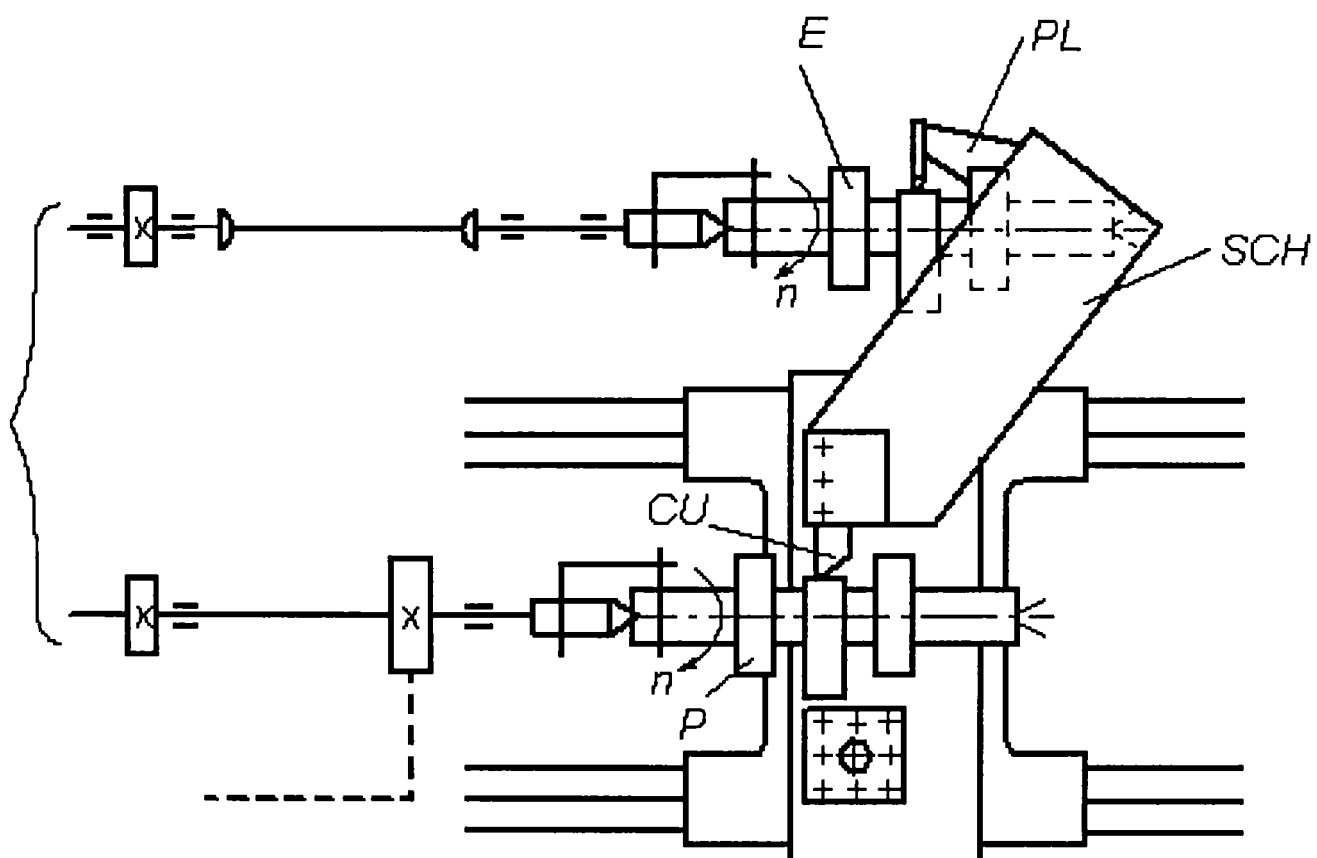


Fig. 2.15 Schema de principiu a strungului de copiat nerotund

Profilul camelor se generează prin strunjire pe strunguri specializate sau special adaptate pentru copiere nerotundă. În cazul unei producții de serie mică sau unicate se poate adapta pentru copiere nerotundă un strung normal. Aceasta constă în înzestrarea strungului cu un sistem de copiere hidraulic și cu posibilitatea de montare a unei came etalon, care să se poată roti sincron cu arborele cu came ce se prelucurează.

Schema de principiu a unui strung astfel adaptat este prezentată în figura 2.15. Astfel, prin intermediul unui tren de roți dințate, mișcarea de rotație n , de la arborele principal este transmisă la arborele etalon E, raportul de transmitere al mișcării fiind $i=1$. Pe sania transversală este amplasat sistemul de copiere hidraulic SCH, acesta fiind dispus înclinat la un unghi de 60° față de axa de rotație a piesei, palpatorul PL, urmărește cama etalon ce urmează să fie copiată [64].

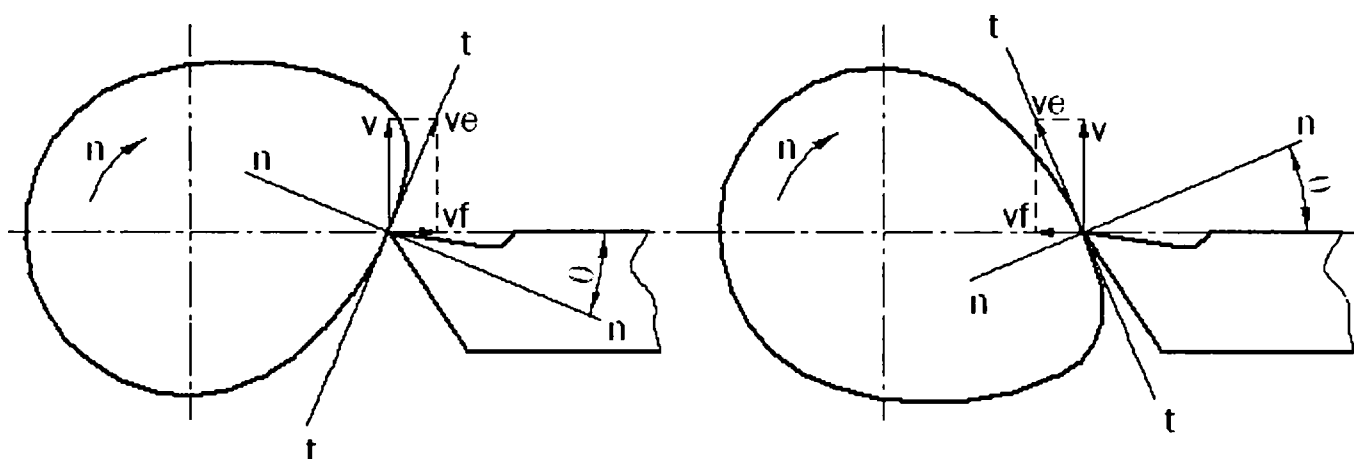


Fig. 2.16 Compunerea mișcărilor de avans la copierea nerotundă

Din figura 2.16 se observă că directoarea, reprezentând profilul camei, se obține prin compunerea vectorială a mișcării de avans circular având viteza periferică v , cu mișcarea avansului de urmărire având viteza de avans v_f . Rezultanta v_e , care reprezintă viteza efectivă de așchiere, este tot timpul tangentă la traiectorie ($t-t$) în punctul de contact dintre profilul camei de așchiat și vârful cuțitului. Generatoarea se obține din mișcarea de avans longitudinal al cuțitului. Unghiul θ , este format între dreapta determinată de punctul de pe axa de rotație a piesei (care este și centrul cercului de bază al camei) și punctul de contact dintre profilul camei cu vârful cuțitului, și normala $n-n$ la profilul camei. Acesta este egal, în cazul mecanismelor cu came având tchet centric (de regulă utilizat la mecanismul de distribuție al motoarelor cu ardere internă), cu unghiul de presiune al profilului camei, numit și unghi de transmitere a forțelor dintre camă și tchet [2].

2.3.2 Prelucrarea prin frezare

În general frezarea este un procedeu de prelucrare prin așchiere productiv, deoarece freza este o sculă multitaș, ceea ce îi conferă posibilitatea de a lucra la regimuri de așchiere intense cu o rigiditate mare. Frezarea profilului camei se poate face prin două metode:

- frezarea prin copiere după șablon;
- frezarea pe mașini unelte cu comandă după program.

2.3.2.1 Copierea după șablon

Frezarea prin copiere după șablon este o metodă răspândită în producția de serie, pentru că asigură obținerea unei precizii ridicate de copiere, calitatea ridicată a suprafeței prelucrate și productivitatea superioară.

Operația de frezare prin copiere se execută pe mașini de frezat specializate, de copiat. Sistemele de copiere cu care sunt înzestrate aceste mașini pot fi:

- mecanice;
- hidraulice;
- electrice.

Principala problemă ce se impune a fi rezolvată, la această metodă de frezare, este determinarea profilului șablonului, în funcție de profilul piesei ce se prelucurează, determinare ce trebuie astfel făcută încât să asigure precizia de prelucrare necesară profilului generat.

Se consideră sistemul de copiere mecanic prezentat în figura 2.17 a.

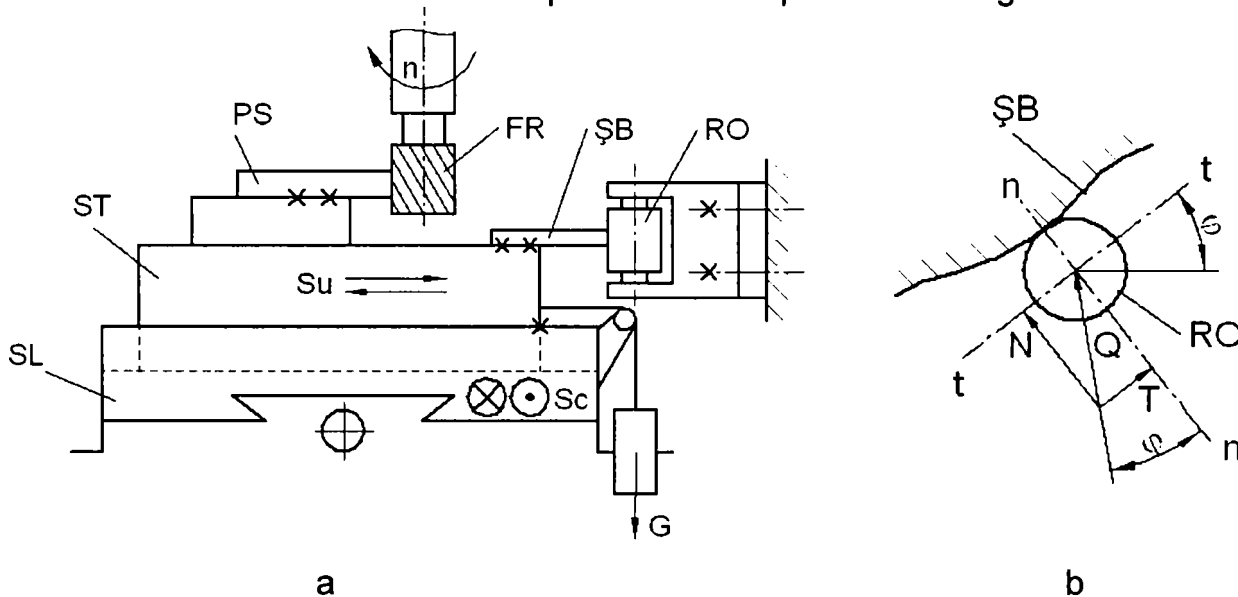


Fig. 2.17 Sistem de copiere mecanic utilizat la frezare

Principiul de lucru constă în faptul că mișcarea de avans de urmărire S_u , este realizată de către sania transversală ST, sub acțiunea greutății G, care presează (apasă) tot timpul șablonul ȘB pe rola R_o . Avansul de conducător S_c este realizat de către mecanismul șurub - piuliță al saniei longitudinale SL. Atât șablonul cât și piesa PS sunt fixate pe sania transversală. Forța Q, (figura 2.17 b) ce menține permanent contactul dintre rolă și șablon, se descompune într-o forță normală N, după direcția normalei n-n în punctul de contact al rolei cu șablonul, și într-o forță tangențială T paralelă cu tangenta t-t în punctul de contact al rolei cu șablonul. Forța normală asigură realizarea contactului permanent dintre rolă și șablon, iar forța tangențială T realizează deplasarea șablonului în fața rolei. Forța tangențială T trebuie să respecte inegalitatea:

$$T > F_a + F_f \tag{2.34}$$

unde: F_a - forța de așchiere;
 F_f - forța de frecare dintre rolă și șablon.

Deci, pentru a obține valoarea corespunzătoare forței tangențiale T, trebuie să se aplice asupra rolei o forță:

$$Q = \frac{T}{\sin \varphi} \tag{2.35}$$

unde: φ - este unghi de presiune.

Dacă unghiul de presiune φ are o valoare prea mică, rezultă pentru forța Q ce se aplică rolei, o valoare mare, ceea ce poate duce la solicitări mari în mecanismul de copiere. Practic, unghiul φ se ia egal cu 30° , adică, relația (2.35) devine:

$$Q = 2 T \tag{2.36}$$

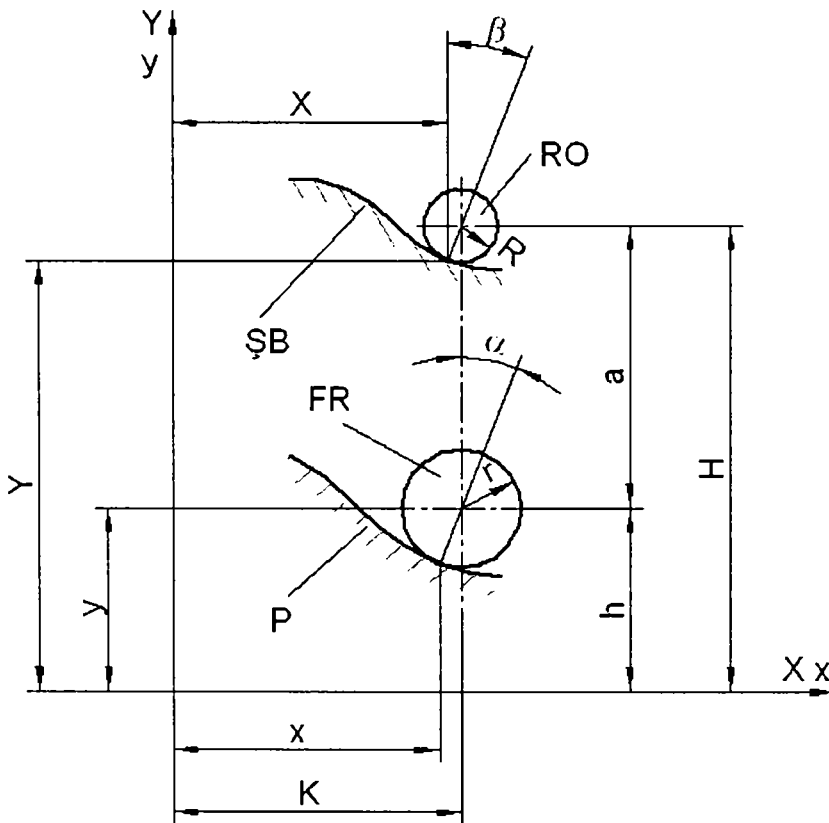


Fig. 2.18 Schemă pentru determinarea profilului șablonului

Profilul șablonului este identic cu profilul piesei numai atunci când diametrul frezei este egal cu diametrul rolei. Dacă șablonul este proiectat pentru un anumit diametru al frezei și al rolei, atunci la o schimbare oarecare a lor se deformează profilul piesei ce se prelucurează.

Pentru a se putea determina pe cale analitică precizia prelucrării prin copiere pe mașini de frezat, trebuie să cunoaștem dependența analitică dintre profilul camei și profilul șablonului. Pentru aceasta, se consideră un sistem de axe rectangular, figura 2.18, în care sunt reprezentate porțiuni din profilul camei P, respectiv profilul șablonului ȘB. Freza FR este legată rigid de rola RO și se mișcă pe traiectoria impusă de șablon.

se pot scrie egalitățile:

$$\begin{cases} X = K - R \sin \beta \\ Y = H - R \cos \beta \end{cases} \tag{2.37}$$

$$\begin{aligned} K &= x + r \cdot \sin \alpha \\ H &= h + a \\ h &= y + r \cdot \cos \alpha \end{aligned}$$

Introducând valorile lui K și H în expresiile X și Y se obține:

$$\begin{cases} X = x + r \sin \alpha - R \sin \beta \\ Y = y + a + r \cos \alpha - R \cos \beta \end{cases} \quad (2.38)$$

Acestea sunt ecuațiile parametrice ale profilului șablonului în raport cu unghiurile α și β , parametri variabili.

Profilul camei este obținut ca înfășurătoarea unei familii de curbe și deci determinantul format din derivatele parțiale ecuației parametrice a curbei în raport cu parametri variabili (unghiurile α și β), trebuie să fie egal cu zero, adică:

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial X}{\partial \alpha} & \frac{\partial X}{\partial \beta} \\ \frac{\partial Y}{\partial \alpha} & \frac{\partial Y}{\partial \beta} \end{vmatrix} = 0 \quad (2.39)$$

Deci:

$$\begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial \alpha} = r \cos \alpha & \quad \frac{\partial Y}{\partial \alpha} = -r \sin \alpha \\ \frac{\partial X}{\partial \beta} = -R \cos \beta & \quad \frac{\partial Y}{\partial \beta} = R \sin \beta \end{aligned} \quad (2.40)$$

Dacă se scrie determinantul desfășurat și se introduc relațiile (2.40), se obține soluția ca determinantul să fie egal cu zero și anume:

$$\alpha = \beta \quad (2.41)$$

Deci relațiile (2.38) se pot scrie:

$$\begin{cases} X = x - (R - r) \sin \alpha \\ Y = z + a - (R - r) \cos \alpha \end{cases} \quad (2.42)$$

Valorile lui $\sin \alpha$ și $\cos \alpha$ sunt:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} \\ \cos \alpha &= \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2}} \end{aligned} \quad (2.43)$$

Introducând aceste valori în expresiile lui X și Y se obține în final:

$$\begin{cases} X = x - \frac{R - r}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} \\ Y = y + a - \frac{R - r}{\sqrt{1 + \left(\frac{dx}{dy}\right)^2}} \end{cases} \quad (2.44)$$

expresii ce dau coordonatele profilului șablonului, dacă sunt cunoscute coordonatele profilului camei.

Sistemele de copiere mecanice se caracterizează printr-o legătură rigidă între șablon și sania care execută avansul de urmărire. Datorită acestui fapt asupra șablonului acționează direct forțele de așchiere, determinând uzarea șablonului și deci scăderea preciziei de prelucrare. Acest dezavantaj este însă înlăturat de către sistemele de copiere hidraulice sau electrice.

Sistemele de copiere hidraulice se bazează pe utilizarea unui traductor de tip sertar, care transformă variația de profil al șablonului în variații ale uleiului sub presiune, furnizat de o pompă. Forța de apăsare a palpatorului pe șablon este mult mai mică decât în cazul sistemelor de copiere mecanice.

Sistemele de copiere electrice se pot clasifica în două categorii, și anume:

- sisteme de copiere cu traductor cu contacte;
- sisteme de copiere cu traductor inductiv.

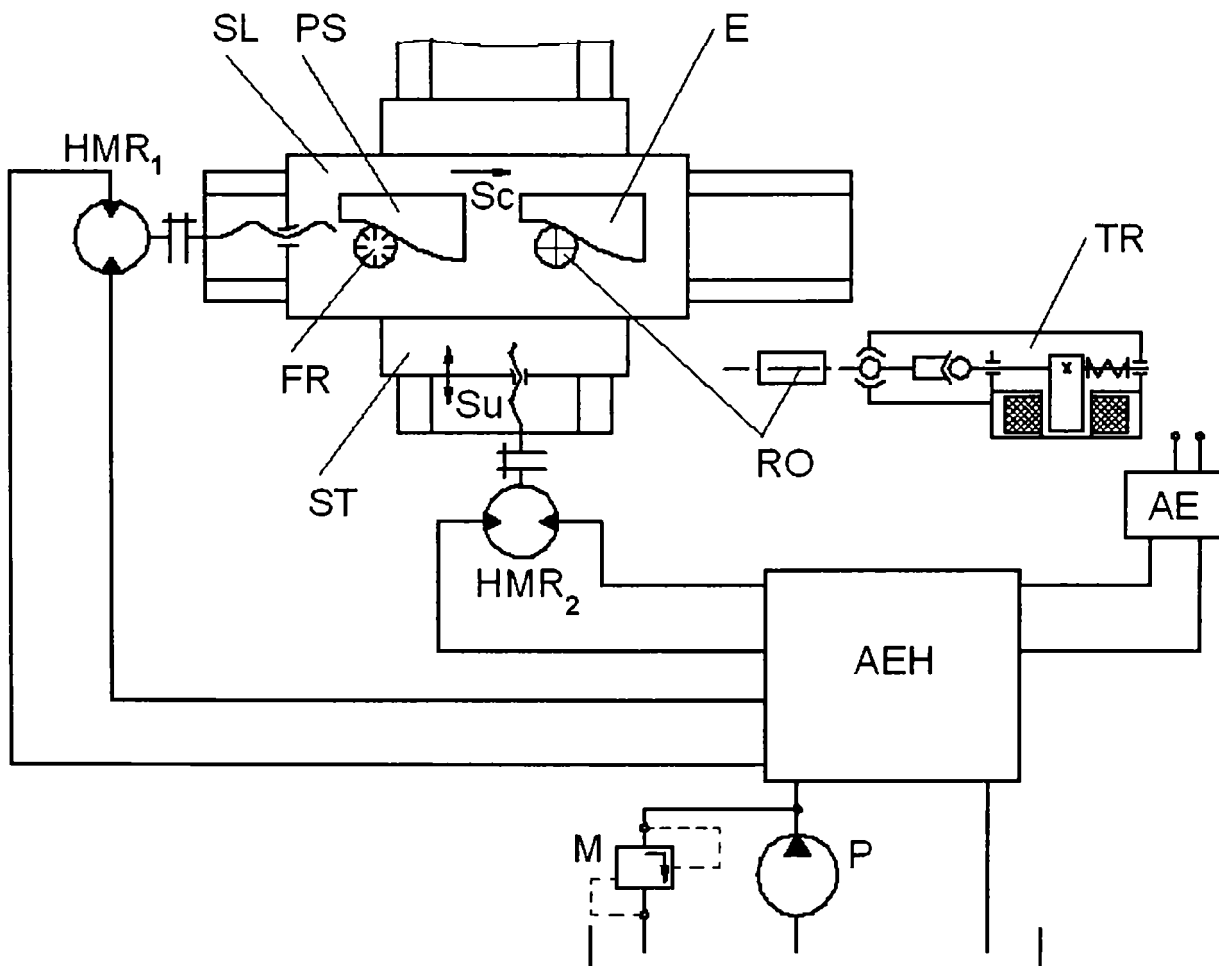


Fig. 2.19 Schema de principiu a sistemului de copiere electrohidraulic utilizat la mașinile de frezat

Prima categorie de sisteme se folosește de obicei pentru atașarea la mașini de frezat universale. Suprafața prelucrată este formată, în zonele înclinate față de ghidajele mașinii, din segmente de dreaptă perpendiculare reciproc. Datorită acestui aspect nu se recomandă utilizarea acestor sisteme de copiere la prelucrarea prin frezare a profilului camei.

Sistemele de copiere electrice cu traductor inductiv realizează suprafețe continue, aceasta fiind și motivul pentru care aceste sisteme sunt recomandate a fi utilizate la prelucrarea profilului camelor. De altfel, cu astfel de sisteme de copiere sunt înzestrate și mașinile specializate de frezare prin copiere. În figura 2.19 este prezentat un sistem de copiere electro-hidraulic care realizează o copiere continuă. Sistemul de copiere utilizează un traductor inductiv TR cu rola de palpăre RO. Acesta transformă variațiile de profil ale etalonului E în variația inductanței unor înfășurări, care furnizează în sistem o variație de tensiune proporțională cu deplasarea. După amplificarea în amplificatorul AE, semnalul este transmis la amplificatorul electro-hidraulic AEH, prin care se alimentează motorul hidraulic rotativ MHR₂. Acest motor acționează sania ST care execută avansul de urmărire S_u. Avansul conducător S_c se obține de la motorul hidraulic rotativ MHR₁ care acționează S_L pe care sunt fixate piesa PS și etalonul E.

2.3.2.2 Conturare prin CNC

Comanda numerică se caracterizează prin aceea că asigură desfășurarea automată a ciclului de lucru, pe baza unui program. Purtătorul de program este de regulă o bandă perforată, iar mai nou o dischetă magnetică. Programul conține informațiile de lucru ce servesc pentru deplasarea la cotele din program a săniilor, asigurând realizarea formei geometrice a profilului, cât și la schimbarea sculelor și a regimului de așchiere (viteza de așchiere, viteza de avans) în diferite faze ale ciclului de lucru.

Sistemele de comandă numerică se clasifică în următoarele categorii:

- sisteme de poziționare;
- sisteme de comandă liniară;
- sisteme de conturare.

Pentru frezarea profilului camei se utilizează sisteme de comandă numerică de conturare, la care între mișcările săniilor există legături funcționale, scula fiind deplasată pe traiectorii curbe (plane sau în spațiu), date în program prin intermediul coordonatelor unor puncte caracteristice sau prin alte elemente geometrice.

Deci pentru a întocmi programul de prelucrare al profilului camei pe o mașină de frezat cu comandă numerică, este necesară precizarea coordonatelor punctelor aflate pe conturul camei. Programarea traiectoriei sculei prin elemente geometrice este posibilă în cazul în care profilul camei este format din arce de cerc și segmente de dreaptă. Luând în considerare cazul general, când nu se poate programa traiectoria sculei prin elemente geometrice, trebuie să fie stabilite coordonatele punctelor profilului. Profilul camei prelucrate va fi cu atât mai precis, cu cât se iau în considerație mai multe puncte de pe contur. Profilul camei fiind indicat în desenele de execuție prin coordonate polare, cu cât incrementul unghiular este mai mic cu atât mai mult se evită obținerea unui profil discontinuu, poligonal.

Pentru a obține un profil al camei cât mai precis, se impune programarea centrului frezei. În acest scop este necesar un algoritm de calcul al traiectoriei centrului frezei [40]. Considerând un mecanism cu camă plană rotativă și tachet excentric în mișcare de translație, se poate construi schema de calcul din figura 2.20.

Coordonatele punctului curent M_i al traiectoriei centrului frezei cât și ale punctului curent C_i al profilului real al camei, se determină în raport cu un sistem de coordonate polar legat de camă, cu originea în A și linia de referință A-x.

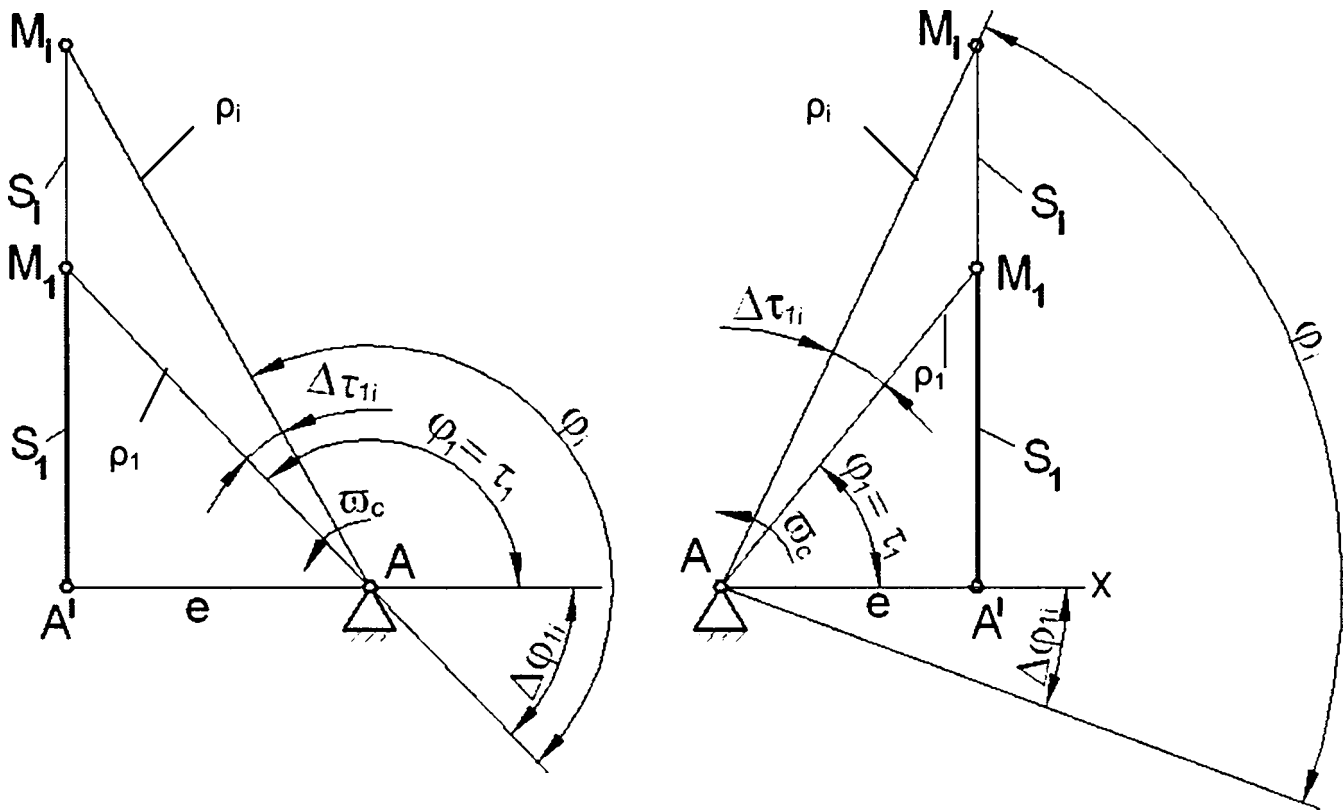


Fig. 2.20 Schema pentru calculul traiectoriei centrului frezei

În momentele t_1 și t_i , punctul caracteristic al centrului frezei M_i , se găsește distanțat de punctul de referință A' , cu segmentele S_1 respectiv S_i , rezultate din legea de mișcare a mecanismului cu camă, care se propune a fi realizată.

Se poate scrie:

$$\varphi_1 = \tau_1 = \arcsin \frac{e}{\rho_1} = \arcsin \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{e}{S_1}\right)^2}} \tag{2.45}$$

iar,

$$\tau_i = \arcsin \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{e}{S_i}\right)^2}} \tag{2.46}$$

cu acestea,

$$\Delta\tau_{1i} = \tau_1 - \tau_i = \arcsin \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{e}{S_1}\right)^2}} - \arcsin \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{e}{S_i}\right)^2}} \quad (2.47)$$

iar punctul curent M_i , în momentul t_i , va avea următoarele coordonate polare:

$$\begin{cases} \rho_i = S_i \sqrt{1 + \left(\frac{e}{S_i}\right)^2} \\ \varphi_i = \omega_c t_i \mp \Delta\tau_{1i} \end{cases} \quad (2.48)$$

În expresiile (2.48) semnul minus corespunde schemei din figura 2.20 b excentricitatea fiind pe partea dreaptă.

În cazul în care trebuie să fie determinate coordonatele unui punct curent C_i de pe profilul real al camei, când este cunoscută legea de mișcare a punctului caracteristic al tachelului, este necesar să se determine direcția normalei la profilul teoretic al camei în punctul M_i . Unghiul de presiune α_i este unghiul format de perpendiculara în punctul M_i pe segmentul M_1M_i - deci, normala la profil în punctul M_i , cu direcția de translație a tachelului. Schema pentru determinarea poziției normalei la profil în punctul M_i (la mecanismul cu camă rotativă și tachel cu rolă, excentric în mișcare de translație) este prezentată în figura 2.21.

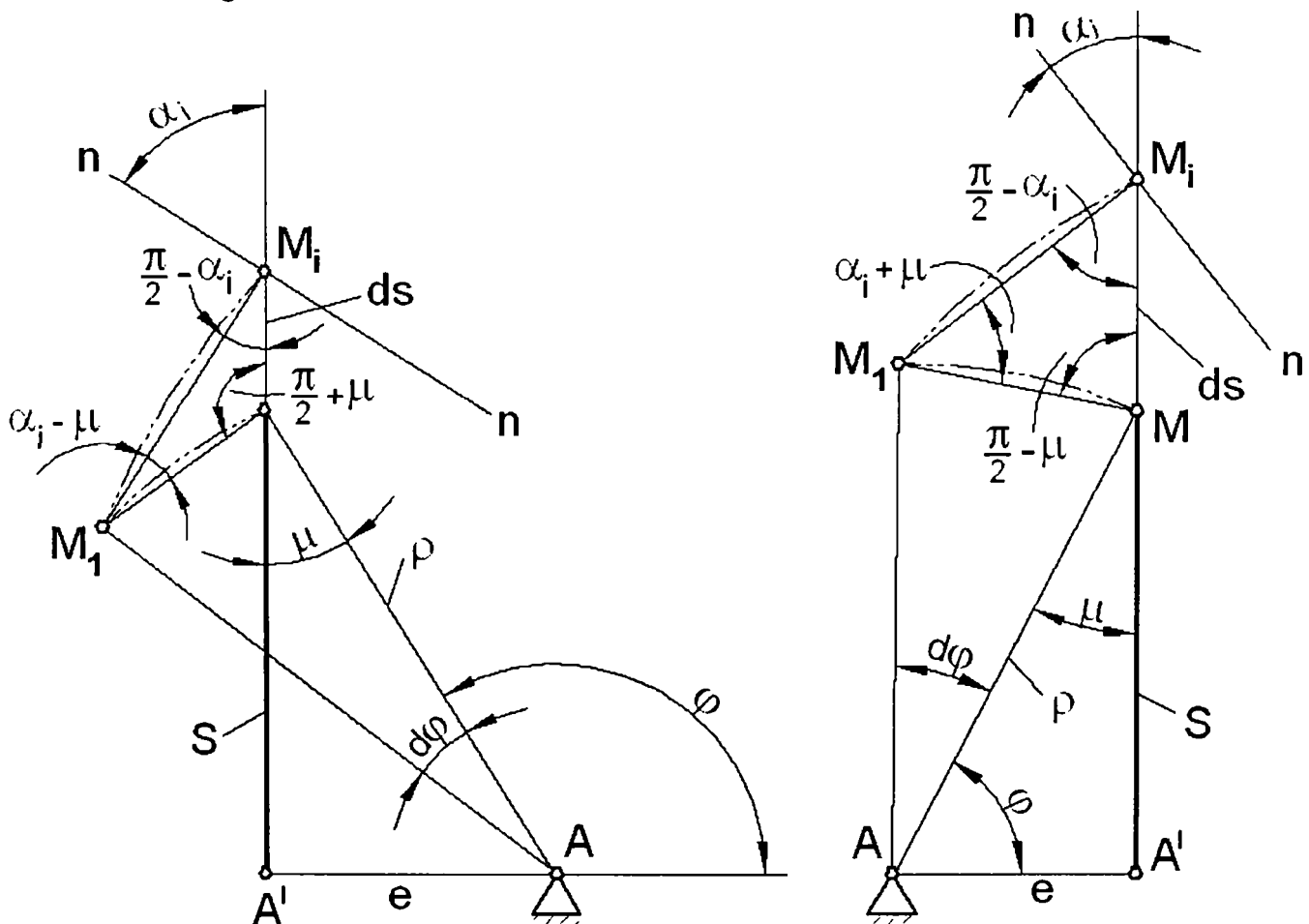


Fig. 2.21 Schema pentru determinarea poziției normale la profil în punctul M_i

Arcele de cerc MM_1 și M_1M_i se pot aproxima prin corzile lor, ținând cont de faptul că $d\varphi$ și ds sunt mărimi infinitezimale, astfel se obține triunghiul ΔMM_1M_i cu unghiurile la vârf de mărime:

$$\begin{aligned} \sphericalangle M_1MM_i &= \frac{\pi}{2} + \mu + d\varphi \\ \sphericalangle M_iM_1M &= \alpha_i - \mu + d\varphi \\ \sphericalangle MM_iM_1 &= \frac{\pi}{2} - \alpha_i \end{aligned} \tag{2.49}$$

unde: $\mu = \arctg(e/S)$
 Aplicând teorema sinusului în triunghiul MM_1M_i rezultă:

$$\frac{\cos\alpha_i}{\rho \cdot d\varphi} = \frac{\sin(\alpha_i - \mu)}{ds} \tag{2.50}$$

Efectuând operațiile necesare se obține:

$$\alpha_i = \arctg\left(\frac{1}{\rho} \frac{\omega_c}{V_{ti}} \frac{1}{\cos\mu} \mp \operatorname{tg}\mu\right) \tag{2.51}$$

unde:
 ω_c - este viteza unghiulară a camei, $\omega_c = d\varphi / dt$;
 V_{ti} - este viteza tachelului în momentul t_i , $V_{ti} = ds / dt$.

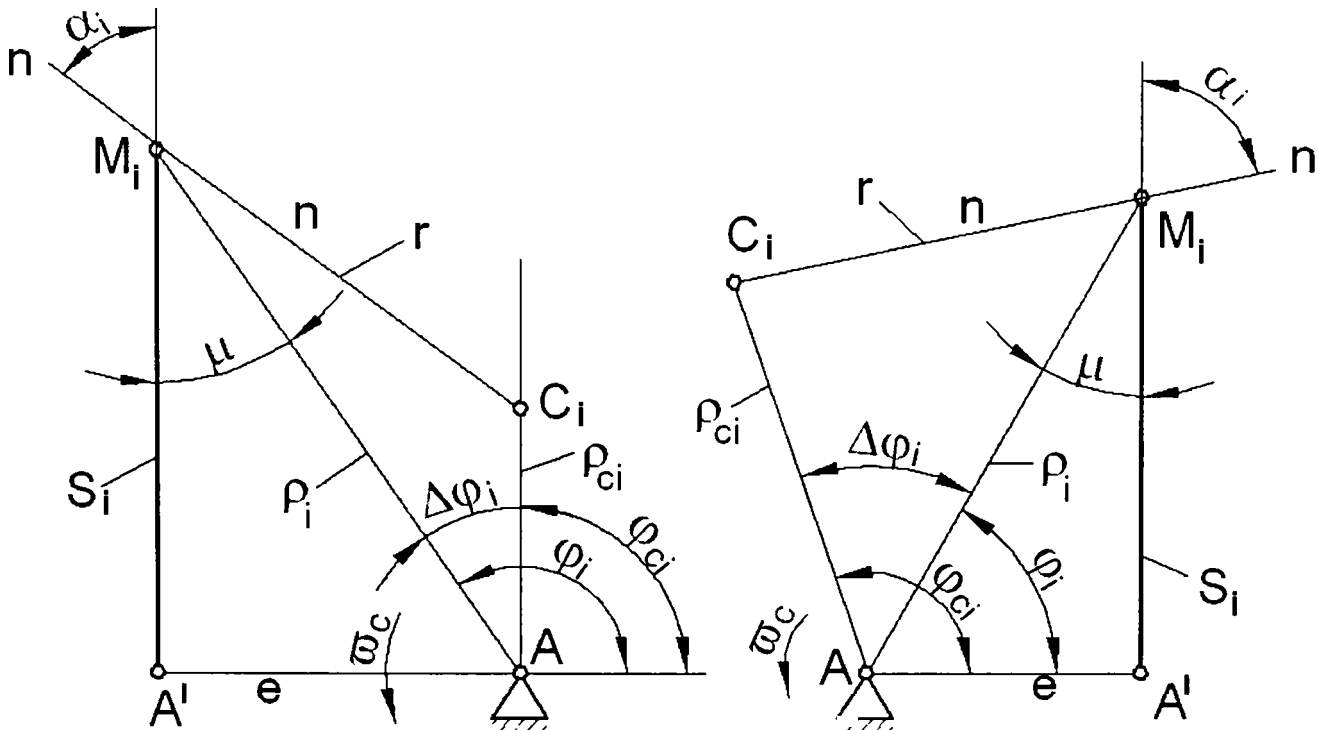


Fig. 2.22 Schema pentru determinarea coordonatelor punctului caracteristic C_i de pe profilul real al camei

În relația (2.51) semnul minus corespunde pentru schema din 2.21 a, iar semnul plus pentru schema din figura 2.21 b.

În figura 2.22 este reprezentată schema pentru determinarea punctului C_i de pe profilul real al camei. Din triunghiul ΔAC_iM_i rezultă:

$$\overline{AC_i} = \left[\rho_i^2 + r^2 - 2\rho_i r \cos(\alpha_i - \mu) \right]^{1/2}$$

sau: (2.52)

$$\rho_{C_i} = \rho_i \left[1 + \left(\frac{r}{\rho_i} \right)^2 - 2 \frac{r}{\rho_i} \cos(\alpha_i - \mu) \right]^{1/2}$$

Notând cu r raza rolei tachetului și aplicând teorema sinusului se poate scrie:

$$\frac{\sin \Delta \varphi_{C_i}}{r} = \frac{\sin(\alpha_i - \mu)}{\rho_{C_i}} \quad (2.53)$$

de unde:

$$\Delta \varphi_{C_i} = \arcsin \left[\frac{r}{\rho_i} \sin(\alpha_i - \mu) \right] \quad (2.54)$$

Cu acestea, coordonatele polare ale punctului caracteristic C de pe profilul real al camei vor fi:

$$\rho_{C_i} = \rho_i \left[1 + \left(\frac{r}{\rho_i} \right)^2 - 2 \frac{r}{\rho_i} \cos(\alpha_i - \mu) \right]^{1/2} \quad (2.55)$$

$$\varphi_{C_i} = \varphi_i \mp \arcsin \left[\frac{r}{\rho_{C_i}} \sin(\alpha_i - \mu) \right]$$

După determinarea coordonatelor profilului camei se poate trece la etapa a doua, și anume, întocmirea programelor pentru mașina cu comandă numerică. Programele se pot întocmi prin două metode:

- programare numerică manuală;
- programare numerică asistată de calculator.

Programarea numerică manuală constă într-un număr de activități pe care le desfășoară un programator având ca scop final obținerea programului pentru prelucrarea camei. Această metodă de programare se aplică în cazul unor procese tehnologice simple, care nu necesită multe faze. Programele pentru generarea profilului

camei pe mașini cu comandă numerică sunt de regulă laborioase. În cazuri particulare, când profilul camei este format din arce de cerc unite prin segmente de dreaptă, sunt relativ mai ușor de programat. Schema activităților de programare manuală este prezentată în figura 2.23.

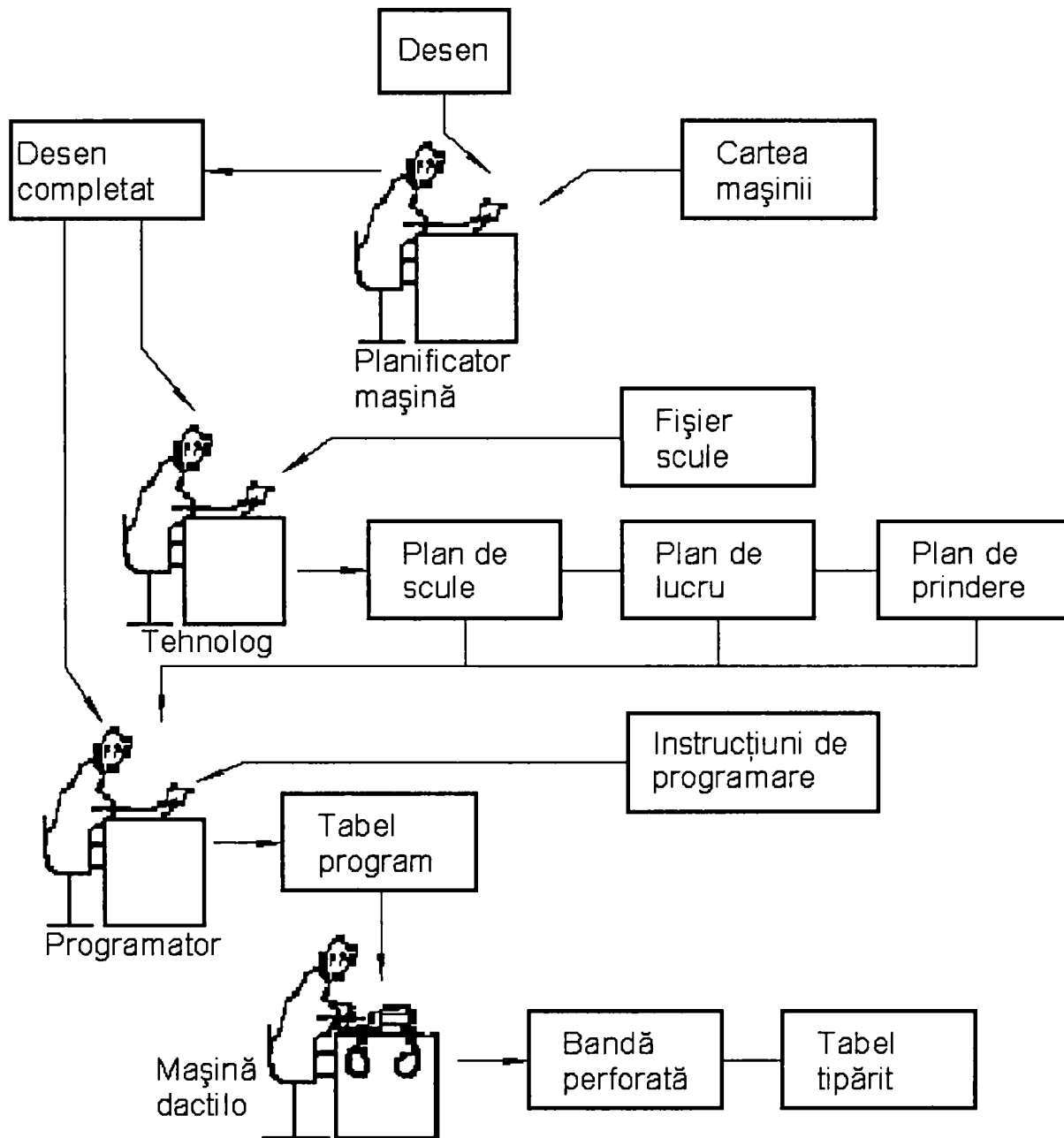


Fig. 2.23 Schema activităților de programare manuală

Caracteristica principală a programării manuale este că, toate mișcările sculelor sunt programate în mod individual, fără supravegherea valorilor greșit introduse, a sculelor sau prelucrărilor. După ce toate sculele au efectuat prelucrările programate, ar trebui ca piesa să corespundă datelor din desen. Acest lucru se poate verifica abia prin prelucrarea pe mașina-unealtă a unei came de probă, după care se pot efectua eventualele corecții ale programului.

Programarea manuală este un procedeu problematic, foarte costisitor, care necesită un mare consum de timp și nu se justifică la întocmirea programelor pentru profilarea camelor, doar în situația în care nu se dispune de mijloace automate de calcul.

Utilizarea calculatorului electronic la programarea mașinilor unelte cu comandă numerică a condus la denumirea acestei activități de “programare numerică asistată de calculator”.

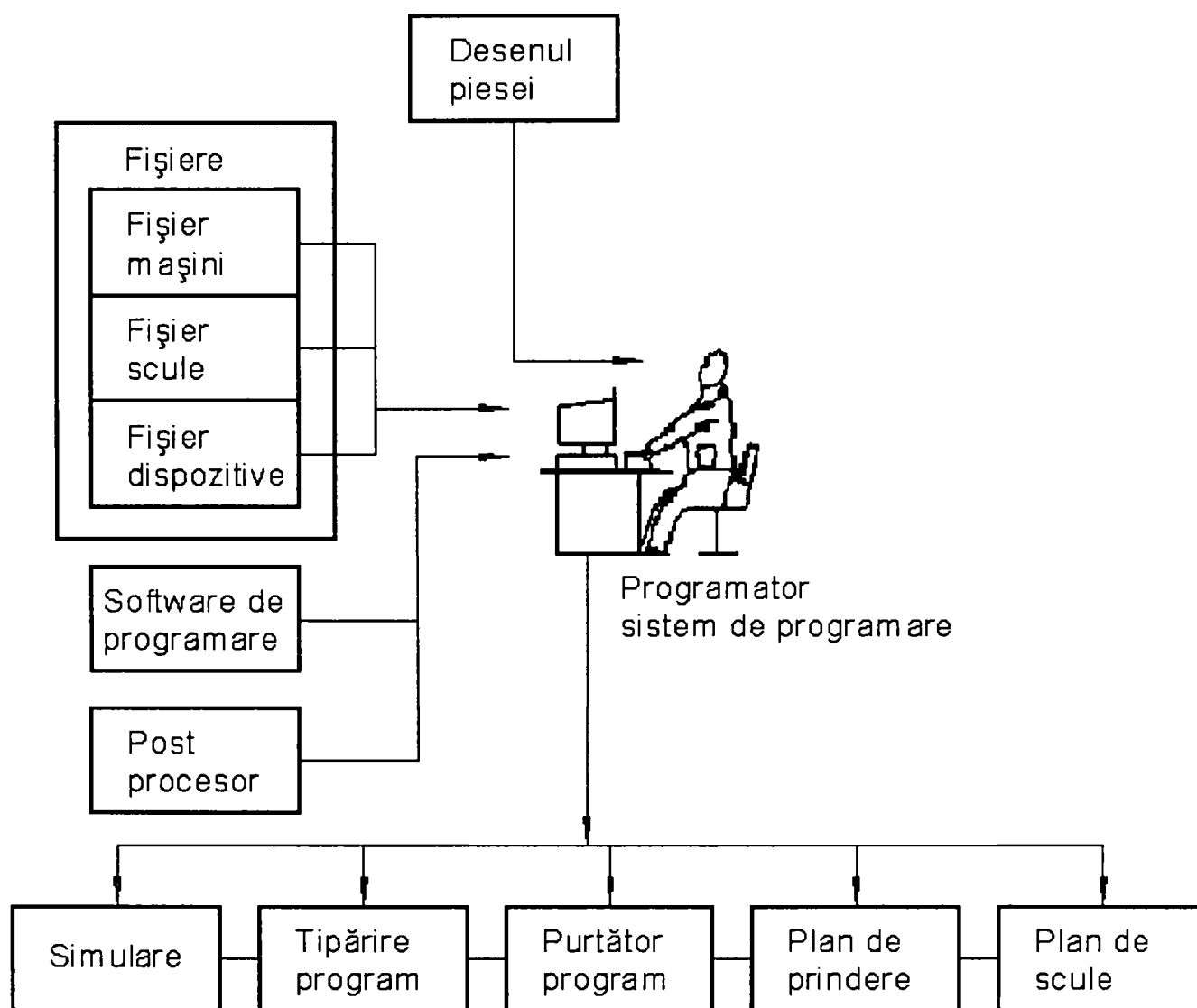


Fig. 2.24 Schema activităților de programare asistată de calculator

Programarea prelucrării unor piese complexe, cum este cazul profilării camelor, necesită un mare volum de calcule, care cu greu ar putea fi rezolvate prin metode de programare manuală. Pentru a scurta timpul de programare și pentru a evita erorile programatorului uman, se recomandă programarea cu ajutorul calculatorului electronic. Pentru a utiliza PC (Personal Computer) la programarea mașinilor unelte cu CNC este necesară existența unui program de adaptare, numit postprocesor, prin intermediul căruia să se poată elabora programele la formatul adecvat fiecărei combinații mașină/comandă numerică. În memoria calculatorului sunt stocate și toate fișierele necesare întocmirii programului de comandă numerică, cum sunt: fișele mașinilor, fișele sculelor și fișele dispozitivelor. După terminarea programării și a simulării prelucrării, se pot emite toate documentele necesare prelucrării profilului camei, cum sunt: tabelul programului, purtătorul de program (bandă perforată, dischetă magnetică), planul de

prindere a camei și planul sculelor necesare prelucrării, așa cum este arătat în figura 2.24.

Principiul general și schema fluxului informațional la programarea asistată de calculator sunt prezentate în figura 2.25.

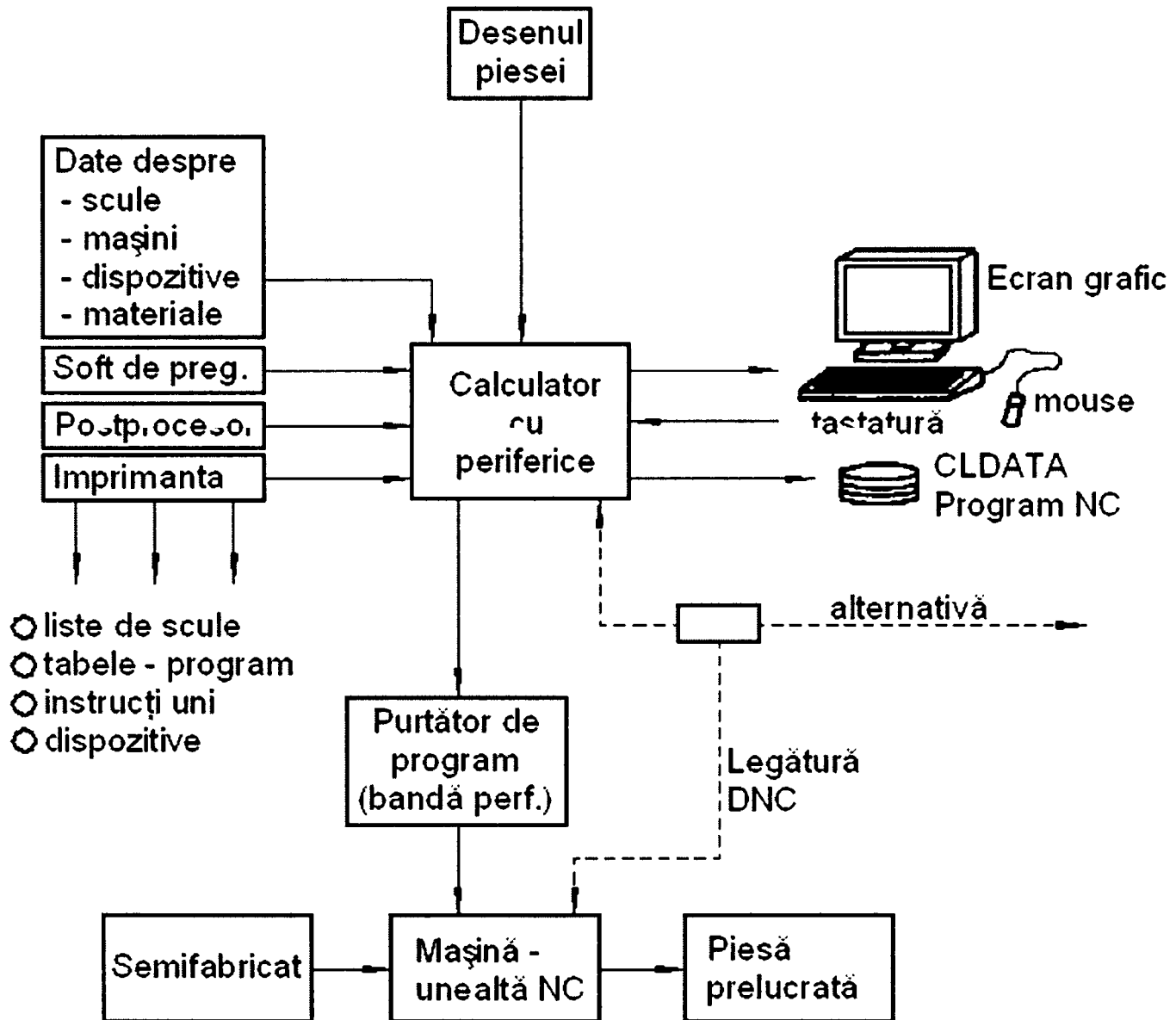


Fig. 2.25 Schema fluxului informațional la programarea asistată de calculator

La terminarea programării, sistemul produce un program – piesă generalizat, denumit și program sursă sau CLDATA-File. Acesta se poate adapta la orice mașină de frezat cu comandă numerică.

Schema structurală a unei mașini de frezat cu comandă numerică, utilizată la frezarea camelor plane individuale, este prezentată în figura 2.26. Freza FR execută mișcarea de rotație I, care este mișcarea principală de așchiere. De asemenea, freza montată în capul de frezat CF, amplasat pe sania transversală ST, efectuează și mișcarea de poziționare pe axa Z. Mișcarea pe axa Z are rolul de a asigura poziționarea frezei în raport cu cama. Profilul camei K este generat prin compunerea mișcărilor de avans III și IV. Mișcarea III este executată de către sania SL pe care este amplasată păpușa port-piesă PP. Păpușa port-piesă susține cama prin intermediul mesei rotative

MR, care execută avans circular pe axa C a mașinii. Axă de rotație a sculei și axă de rotație a mesei rotative se găsesc în același plan orizontal.

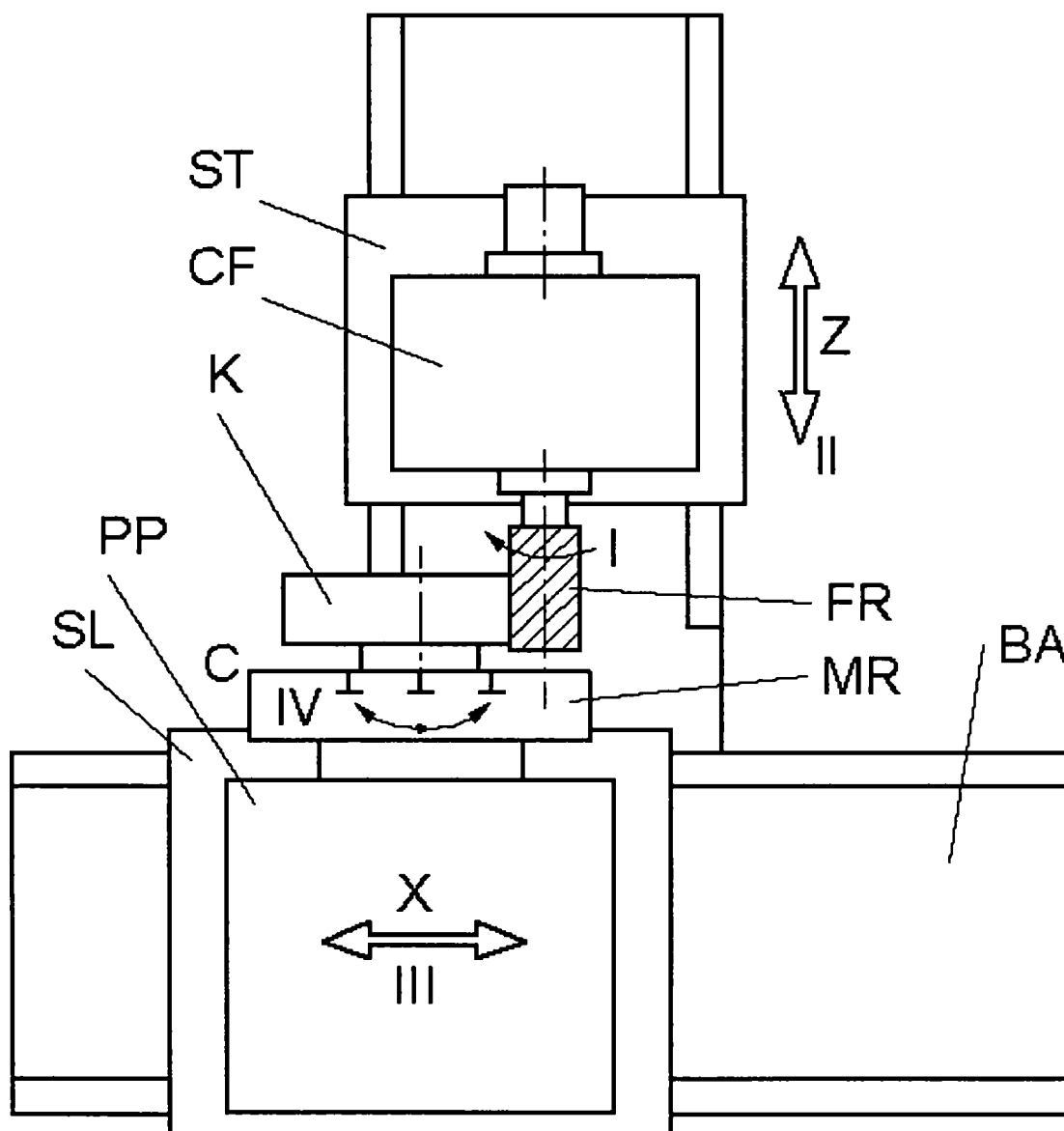


Fig. 2.26 Schema structurală a mașinii de frezat cu comandă numerică utilizată la frezarea conturului camelor individuale

Arborii cu came monobloc nu pot fi prelucrați pe o astfel de mașină ca cea prezentată în figura 2.26. Aceștia pot fi prelucrați însă pe o mașină cu comandă numerică având structura simplificată prezentată în figura 2.27. Profilul este generat prin combinarea mișcării de rotație II a arborelui cu came, cu mișcarea III pe axa X a mașinii, executată de către sania transversală ST. Pe sania transversală este montat și capul de frezat ce susține freza FR, aceasta executând mișcarea de rotație I, care este mișcarea principală de așchiere. Sania transversală ST este dispusă pe sania longitudinală SL, care poate culisa pe ghidajele batiului înclinat BÎ, executând mișcarea IV, pe axa Y a mașinii. Această mișcare face posibilă trecerea la prelucrarea următoarelor came de pe arborele cu came AC, care poate fi prins pe mașina prin intermediul vârfurilor cu care sunt prevăzute păpușa mobilă PM și păpușa fixă PF.

Mașinile de frezat pot fi echipate cu freze armate cu plăcuțe din carburi metalice, ceea ce le permite să lucreze cu viteze de așchiere și avansuri mari. Prin utilizarea unor regimuri de așchiere superioare, posibil de aplicat și datorită faptului că plăcuțele care echipează capetele de frezat așchiază intermitent, având astfel posibilitatea de a se

răci, se reduce timpul de prelucrare. Acest tip de mașini s-a impus în special în producția de serie mare. Fiind mașini specializate, acestea sunt executate la comandă specială.

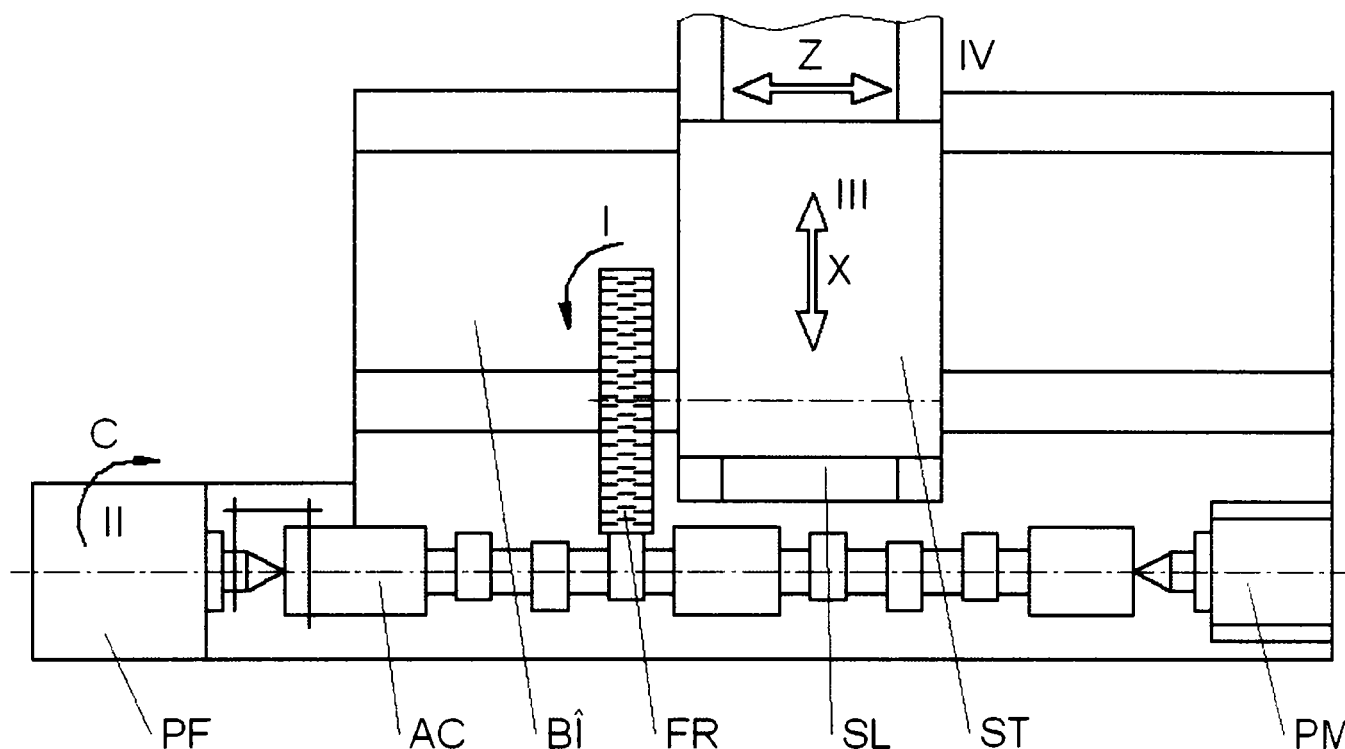


Fig. 2.27 Schema structurală a mașinii de frezat cu comandă numerică utilizată la frezarea arborilor cu came monobloc

Există mai multe firme producătoare de mașini-unelte care execută la comandă astfel de mașini. Un exemplu este mașina produsă de firma Schiess Kopp, reprezentată în figura 2.28.



Fig. 2.28 Mașină de frezat cu comandă numerică arbori cu came monobloc, produsă de firma SCHIESS KOPP

2.4 Tratamente termice secundare

2.4.1 Condiții tehnice impuse stratului superficial

Funcționarea mecanismelor cu came este însoțită uneori de șocuri. Acestea apar sub forma unor lovituri puternice între tachet și camă. Șocul apare la modificarea bruscă a mărimii sau a direcției forței de contact dintre camă și tachet. Această modificare poate avea loc ca urmare a variației bruște a forței de rezistență tehnologică și/sau a forței de inerție. Forța de inerție este proporțională cu accelerația tachelului, deci, în locurile unde în diagrama accelerației tachelului apar variații bruște, vor apărea șocuri.

În afară de rezistență admisibilă de contact ridicată, ca și în cazul altor cuple de frecare, materialele din care sunt confecționate cama și tachelul trebuie să satisfacă și următoarele condiții esențiale:

- o bună comportare la frecare, fără predispoziții la gripare sau la alte forme de uzări distructive;
- o bună rezistență la uzare și la efecte termice;
- modul de elasticitate relativ redus;
- coeficient de frecare cât mai mic.

Se poate menționa faptul că o bună parte a literaturii de specialitate [17, 52], acordă factorilor precizații mai sus o anumită ordine și o anumită pondere de importanță, și anume:

- rezistența mecanică la oboseală 60%;
- capacitate de deformare elastică 10%;
- rezistența la gripare 5%;
- rezistența la coroziune 5%, etc.

Condițiile ce trebuie îndeplinite de materialele din care este confecționată cupla de frecare camă-tachet sunt influențate de anumiți factori, principalii fiind duritatea și gradul de netezire al suprafeței. Acești factori sunt legați de calitatea suprafețelor de contact ce formează cupla de frecare.

Vorbind despre suprafețele de contact ale cuplei de frecare, trebuie avute în vedere două aspecte, aspectul fizic și aspectul geometric. Aspectul fizic caracterizează calitatea suprafeței prin abaterile proprietăților fizico-mecanice ale stratului superficial de metal, față de cele ale metalului de bază. Aspectul geometric prin care calitatea suprafeței este determinată de abaterile suprafeței reale de la cea ideală, indicată în desenele de execuție ale camei și tachelului. Definirea suprafețelor de contact ale cuplei de frecare, pur geometric, ca fiind limita dintre materialul piesei și mediul înconjurător nu este corectă. Din punct de vedere funcțional, suprafața de contact trebuie considerată ca un strat subțire de material, care prezintă atât particularități fizice cât și geometrice.

În general, se consideră că proprietățile stratului superficial se caracterizează prin: structura stratului superficial, duritatea stratului superficial și starea de tensiune remanentă a stratului superficial.

Calitatea suprafeței, după prelucrare, depinde deci de abaterile geometrice ale suprafeței reale față de suprafața ideală, de duritate, de structură și de starea de tensiune remanentă a stratului de material din apropierea suprafeței.

În teoria așchierii s-au stabilit relații între parametrii regimului de așchiere și neregularitățile suprafeței prelucrate, precum și influența acestor parametri asupra proprietăților fizice ale stratului superficial. În funcție de viteza de așchiere, de viteza de avans, de natura și geometria sculei așchietoare, etc., grosimea stratului superficial la un oțel carbon obișnuit poate atinge 5 micrometri. La o rectificare fină, stratul superficial

care rezultă, poate fi împărțit de la exterior către interior, în următoarele zone: o primă zonă cu o grosime de aproximativ 0,0003 μm care cuprinde o peliculă de gaze absorbită din atmosferă, a doua zonă cu grosimea de aproximativ 0,008 μm care cuprinde un strat semirupt din metal decarburat, format dintr-un amestec relativ slab între particulele de oxizi, nitrați și din particule decarburate de metal, o a treia zonă cu o grosime de până la 5 μm , care constă în granule deformate de metal cu incluziuni de carburi.

Acest strat superficial subțire se caracterizează prin proprietăți mecanice scăzute, care pot avea influență negativă asupra comportării mecanismului cu camă, în special în privința rezistenței la uzare a suprafețelor de contact ale camei respectiv tchetului.

Ținând cont de aspectele legate de calitatea suprafeței, descrise mai sus, rezultă că pentru îmbunătățirea acestora sunt necesare măsuri tehnologice care să conducă la obținerea rugozității corespunzătoare și la formarea unui strat superficial distrus cu o grosime cât mai mică. Pentru aceasta, fie că se lucrează prin procedee de prelucrare obișnuite, alegând regimuri de așchiere corespunzătoare, fie se recurge la procedee de prelucrare prin care se îmbunătățește rugozitatea și se înlătură stratul superficial distrus.

Majoritatea suprafețelor care au un rol funcțional important, se prelucrează la ultima operație tehnologică cu scule abrazive. La rectificare, căldura de așchiere determină ridicarea temperaturii în zona de așchiere până la 1000° C, ceea ce determină modificarea structurii, a durtății și apariția tensiunilor în stratul superficial. O modificare a parametrilor regimului de așchiere poate îmbunătăți situația dar nu evită complet formarea stratului superficial.

Așa cum s-a arătat în primul capitol, una din cerințele de bază ale mecanismelor cu camă este realizarea corelației dintre mărimea de intrare și mărimea de ieșire, altfel spus, să asigure respectarea legii de mișcare a tchetului.

Mișcarea tchetului trebuie să se încadreze în limitele impuse de proiectantul mecanismului cu camă, atât în ceea ce privește realizarea curselor cât și în ceea ce privește viteza și accelerația tchetului. Pentru realizarea acestui deziderat se impune ca precizia la care se realizează profilul camei să fie cât mai mare, deoarece orice abatere de la profilul teoretic al camei poate conduce la solicitări dinamice importante, șocuri, vibrații sau distrugerea zonelor de contact. Deci, pentru finisarea profilului camei se alege un procedeu de prelucrare capabil să asigure obținerea clasei de precizie impusă profilului.

A doua condiție esențială, este ca, mecanismul cu camă să prezinte o durabilitate cât mai mare. Asigurarea durabilității pornește încă din faza de proiectare a mecanismului, și anume prin stabilirea legii de mișcare. Legea de mișcare poate fi impusă integral sau parțial de către procesul tehnologic deservit de către mecanismul cu camă.

Camele ce intră în componența mecanismului de distribuție a motoarelor Diesel sunt came plane cu tchet cu mișcare de translație, cu închidere prin forță, puternic solicitate, motiv pentru care sunt confecționate din materiale cu proprietăți mecanice ridicate. Deasemenea sunt supuse unor tratamente termice care să le asigure aceste proprietăți mecanice. Profilul camei este complex și precis, astfel încât să asigure legea de mișcare a supapelor, acestea fiind elementele de ieșire ale mecanismului de distribuție a motoarelor, care să confere motorului calități superioare atât în privința procesului gazodinamic cât și în privința regimului dinamic de funcționare.

Revenind la faza de proiectare, indiferent de elementul a cărui mișcare se dorește a fi optimă, respectiv tchetul sau supapa, trebuie să se urmărească evitarea unor legi de mișcare cu șocuri, în mod special a șocurilor dure.

Deasemenea, ținând cont de solicitările mari la care sunt supuse mecanismele cu came, arcurile care trebuie să asigure închiderea forțată a mecanismului cu camă trebuie să dezvolte o forță care să depășească forțele de inerție, îndreptate în sensul desprinderii tchetului de camă și totodată să compenseze efectul forțelor de frecare și a gazelor.

Ca urmare, legea de mișcare optimizată sub aspectul condițiilor dinamice și de umplere a cilindrului, trebuie să asigure un nivel al solicitării elementelor mecanismului în limitele valorilor admisibile.

Aspectul geometric al calității suprafețelor ce formează cupla de frecare camă-tchet, se referă la abaterile suprafeței reale față de suprafața ideală, indicată în desenul de execuție. Aceste abateri, în funcție de mărimea lor și de influența pe care o au asupra calității suprafeței și a proprietăților tehnico-funcționale ale mecanismului cu camă, pot fi clasificate în trei grupe:

- abateri de formă sau macroneregularități;
- ondulații;
- rugozitate sau microneregularități.

În general, demarcația dintre cele trei feluri de abateri este greu de stabilit.

Abaterile de formă sau macroneregularitățile, sunt abateri de înălțime mică R_M și pasul mare, așa cum este reprezentat în figura 2.29, aceste abateri pot fi: neplaneitate, convexitate, concavitate, conicitate, forma butoi, forma hiperboloid, etc. Macroneregularitățile apar ca și consecință a impreciziei sistemului tehnologic elastic mașină-unealtă-dispozitiv-piesă-sculă (MUDPS). De obicei macroneregularitățile apar izolate pe suprafețele pieselor.

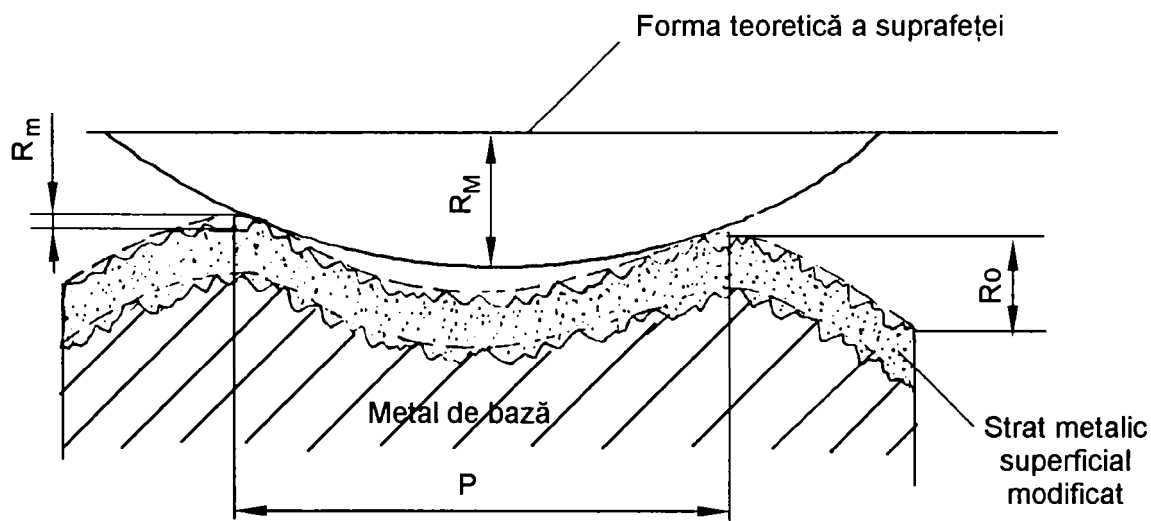


Fig.2.29 Abaterile suprafeței reale față de cea teoretică.

Ondulațiile sunt abateri de înălțime mică R_O și cu pas mediu, care apar datorită: neuniformității procesului de așchiere, deformațiilor plastice din zona de așchiere, vibrațiilor sistemului MUDPS și a altor cauze. Aceste neregularități au pasul mai mare decât avansul de lucru al sculelor.

Rugozitatea sau microneregularitățile suprafețelor sunt abateri de înălțime foarte mică R_m și având pasul mai mic decât cel al undulațiilor. Ele se formează în timpul așchierii, datorită: geometriei părții active a sculei așchietoare, deformațiilor elasto-plastice ale metalului din fața tăișului sculei, parametrilor regimului de așchiere și ale altor elemente ale procesului de așchiere. Rugozitatea poate fi considerată în secțiune longitudinală a suprafeței prelucrate, respectiv în direcția mișcării principale de așchiere, și în direcție transversală, respectiv în direcția mișcării de avans. În majoritatea cazurilor, rugozitatea transversală este mai mare decât rugozitatea longitudinală, fapt pentru care, de regulă, la aprecierea netezimii se ia în considerare rugozitatea transversală.

Diferența cea mai importantă între cele trei feluri de abateri privind aspectul geometric al calității suprafețelor, constă în valoarea pasului abaterilor. Dacă se notează cu p valoarea pasului și cu R înălțimea abaterilor, atunci raportul p/R va avea următoarele valori:

- pentru rugozitate: $\frac{p}{R} = 0 \dots 50$;
- pentru undulații $\frac{p}{R} = 50 \dots 1000$;
- pentru abateri de formă $\frac{p}{R} > 1000$.

Valoarea lui R pentru toate cele trei felurile de abateri este aproximativ de același ordin de mărime.

Efectul funcțional al acestor abateri este diferit. Rugozitatea și undulațiile pot avea efecte opuse asupra capacității portante a suprafețelor. Pentru a stabili calitatea unei suprafețe prelucrate este necesar să se determine valorile pe care le au cele trei feluri de abateri. În acest scop se utilizează anumite sisteme de referință, dintre care, cele care au o însemnătate internațională sunt:

- sistemul M al liniei medii;
- sistemul E al liniei înfășurătoare.

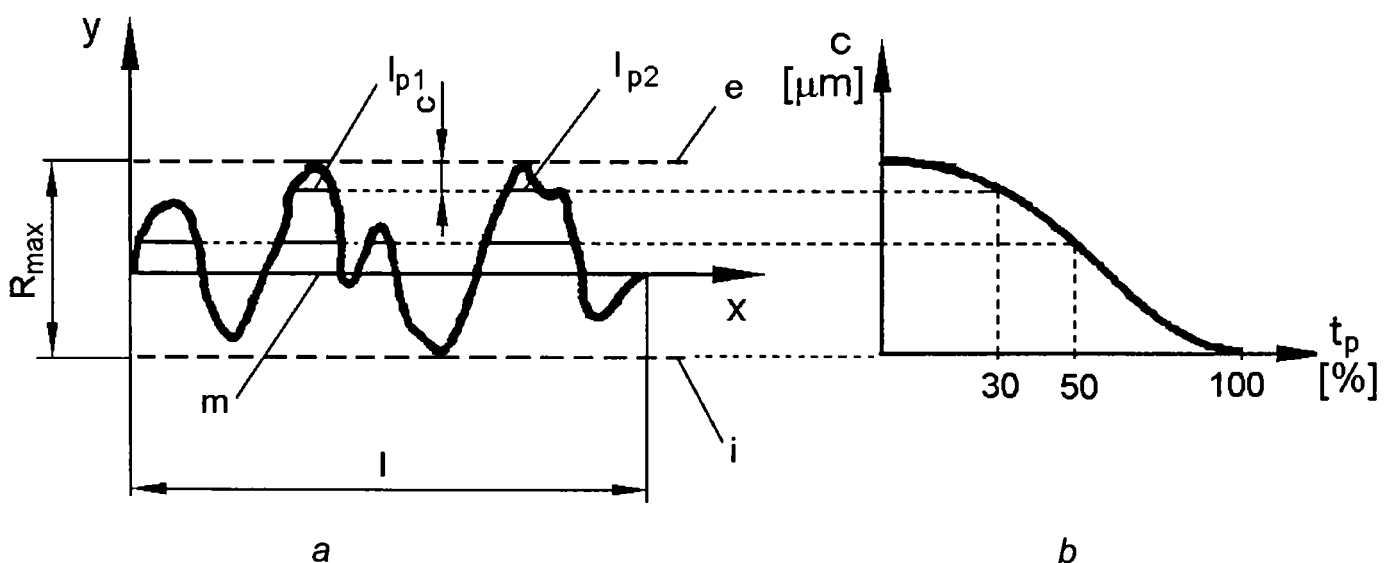


Fig.2.30 Reprezentarea rugozității în sistemul M.

Sistemul M, reprezentat în figura 2.30, are la bază linia medie, în limitele lungimii de bază (l), linia medie (m), are forma profilului geometric ideal și împarte profilul efectiv astfel încât suma pătratelor ordonatelor sale în raport cu ea să fie minimă.

Cu ajutorul liniei medii se pot defini următoarele mărimi ce caracterizează suprafața:

- Abaterea medie a neregularităților (R_a), egală cu valoarea medie a ordonatelor punctelor profilului efectiv față de linia medie, suma coordonatelor se face fără a ține cont de semnul algebric:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| \cdot dx = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (2.56)$$

- Înălțimea neregularităților (în zece puncte) (R_z), este diferența între înălțimea medie aritmetică a ordonatelor celor mai înalte cinci puncte de vârf și media aritmetică a ordonatelor celor mai joase cinci puncte de fund ale profilului efectiv. Ordonatele se măsoară în limitele lungimii de bază, față de o axă paralelă cu linia medie situată în afara liniilor: exterioară (e) și interioară (i):

$$R_z = \frac{1}{5} \cdot \sum_{i=1}^5 R_i - \frac{1}{5} \cdot \sum_{j=1}^5 R_j \quad (2.57)$$

- Înălțimea maximă (R_{max}), care este definită ca distanță între liniile exterioară (e) și interioară (i).
- Abaterea medie pătratică ($r.m.s.$):

$$r.m.s. = \left[\frac{1}{l} \cdot \int_0^l y^2 \cdot dx \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.58)$$

- Lungimea portantă (L):

$$L = \sum l_{pj} \quad (2.59)$$

- Partea portantă a profilului în procente (t_p), reprezintă raportul dintre lungimea portantă și lungimea de bază la o adâncime dată a profilului, reprezentarea grafică a dependenței dintre lungimea portantă și înălțimea asperităților, figura 2.30 b, poartă denumirea de curbă de portantă (Abbot - Firstone):

$$t_p = \frac{L}{l} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.60)$$

În acest sistem se definesc și următorii parametri: adâncimea medie, factorul de umplere, derivatele de ordinul unu și doi ale profilului real, funcția de autocorelație și funcția densității spectrale.

Sistemul E constă în următoarele: un cerc cu raza de 250 mm se rostogolește pe suprafața controlată, centrul cercului descrie o curbă care trece prin vârfurile profilului real, așa cum se poate observa în figura 2.31, locul geometric al centrului cercului de

rostogolire determină "curba de formă"; în mod similar, un alt cerc de rază 25 mm se rostogolește pe suprafața de controlat, locul geometric al centrului acestui cerc este deasemenea o curbă care trece prin vârfurile profilului real, și se numește "curbă înfășurătoare de contact".

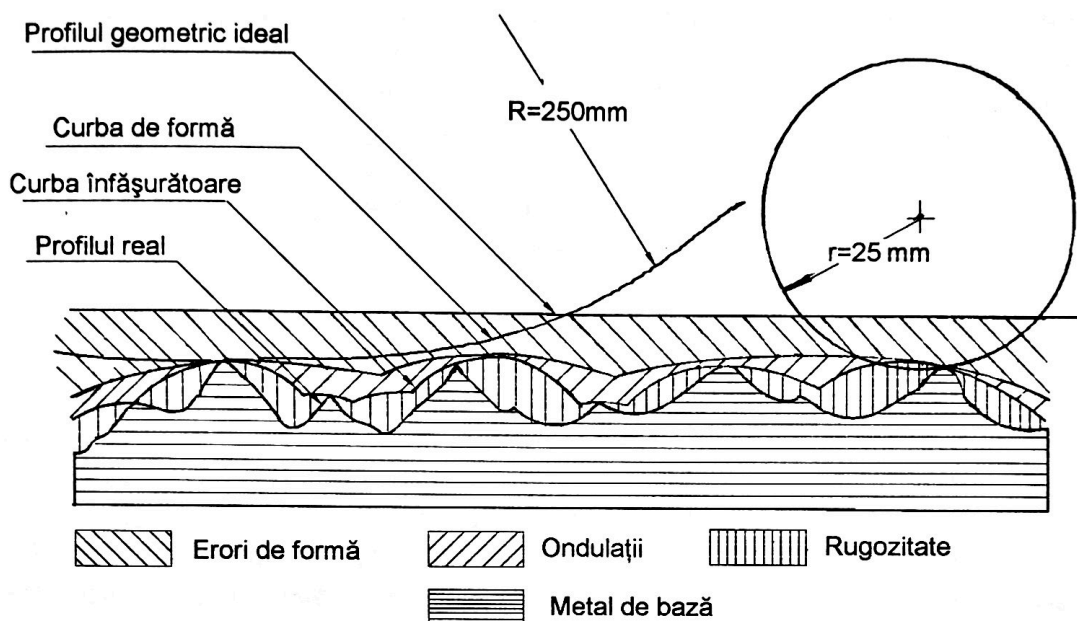


Fig. 2.31 Sistemul E de evaluare a rugozității suprafețelor

În acest sistem de măsură este ușor să se distingă diferitele feluri de abateri ale profilului real de la profilul geometric ideal, și anume:

- aria dintre profilul ideal și curba de formă, reprezintă eroarea de formă;
- aria dintre curba de formă și înfășurătoarea de contact, reprezintă ondulațiile suprafeței;
- aria dintre profilul geometric ideal și profilul real, reprezintă abaterea totală a suprafeței;
- determinarea rugozității se face luând ca linie de referință, curba înfășurătoare și măsurând adâncimea neregularităților perpendicular pe profilul ideal.

Sistemul E este mai puțin răspândit. Sistemul M are avantajul de-a fi practicat de un număr considerabil de ani, fapt care a condus la dezvoltarea unui număr mare de aparate care măsoară rugozitatea pe baza liniei medii, ceea ce face ca sistemul M să fie mai răspândit. Între valorile determinate în cele două sisteme nu există decât o mică diferență.

Rugozitatea suprafețelor ce formează cupla de frecare camă-tachet are o influență deosebită asupra comportării în exploatare a mecanismului cu camă, astfel: rezistența la uzare, rezistența la oboseală, rezistența la coroziune, etc. sunt influențate hotărâtor de rugozitatea suprafețelor.

S-a constatat experimental că la suprafețele aflate în contact, contactul nu are loc pe toată lungimea nominală, ci numai pe anumite zone determinate de vârfurile microneregularităților. Din această cauză, suprafața efectivă de contact este mai mică decât suprafața nominală. Coeficientul de portanță are valori mici, 0,15...0,25 pentru

suprafețele prelucrate prin metode obișnuite, cum sunt: strunjirea, frezarea, alezarea, etc. și cel mult 0,5 la suprafețe rectificată. Numai prin procedee speciale, cum sunt: honuirea, vibronetezirea, lepuire, etc. coeficientul de portanță poate fi ridicat la valori de 0,9...0,95. Dacă se ține seama și de erorile de formă și de ondulațiile suprafețelor, valoarea coeficientului de portanță va fi și mai mică.

Acest fapt determină creșterea excesivă a presiunilor specifice ceea ce conduce la depășirea tensiunilor admisibile, adică la apariția deformațiilor plastice, retezarea și distrugerea asperităților și în ultimă instanță la uzare intensă a camei și a tachelului.

Rugozitatea suprafețelor, în zonele de mare solicitare ale camei și tachelului, influențează rezistența la oboseală a acestora. Crestăturile dintre asperități pot constitui amorse de fisurare, conducând la scăderea rezistenței la oboseală.

Rugozitatea suprafețelor, influențează coeficientul de frecare. Există o anumită valoare la care coeficientul de frecare este minim. Coeficientul de frecare crește atât cu creșterea rugozității peste această valoare (datorită întrepătrunderii mai accentuate a asperităților), cât și cu scăderea rugozității sub această valoare (datorită intensificării fenomenului de aderență între suprafețe).

Rezistența la coroziune a suprafețelor depinde într-o măsură însemnată de mărimea asperităților după prelucrările de finisare. Asperitățile sunt cu atât mai intens corodate cu cât sunt mai mari și mai ascuțite. Coroziunea are același caracter ca și uzarea, în sensul că în prima perioadă de funcționare are loc o coroziune intensă, care apoi se stabilizează la valori mult mai reduse.

Rugozitatea suprafețelor influențează și alte caracteristici fizico-mecanice ale pieselor, cum sunt: aderența depunerilor metalice, etanșeitățile, coeficientul de transmitere a căldurii, etc.

Trebuie precizat faptul că între rugozitatea prescrisă a suprafețelor și economicitatea prelucrării este o strânsă legătură. Astfel, prețul de cost al prelucrării crește odată cu prescrierea unei rugozități mai reduse (suprafețe mai netede).

Aspectul fizico-mecanic al calității suprafețelor, proprietățile fizico-mecanice ale stratului superficial al componentelor cuplei de frecare camă-tachet, sunt determinate de materialul din care acestea sunt confecționate. Câteva dintre principiile ce stau la baza alegerii materialului pentru cuple de frecare, cum este și cupla cinematică camă-tachet, au fost prezentate la începutul acestui capitol. În cele ce urmează se va face o analiză a proprietăților mecanice ale stratului superficial al camelor plane.

Una dintre cele mai importante proprietăți ale stratului superficial al camelor este duritatea. Aceasta caracterizează rezistența la acțiuni mecanice de distrugere a suprafeței camei. De aici rezultă legătura dintre duritate și rezistența la uzare superficială a suprafeței de contact a camei cu tachelul. Prin cunoașterea durității se pot aprecia calitățile obținute după aplicarea unor tratamente termice, termochimice sau mecanice, asupra camelor.

Cele mai uzuale metode folosite în determinarea statică a durității sunt:

- metoda Brinell, simbolizată prin grupul de litere HB, utilizată pentru determinarea durităților mai mici (350...500HB);
- metoda Rockwell, simbolizată prin grupul de litere HR, cu cele trei variante: HRA, HRB și HRC, utilizată pentru determinarea durităților mai mari (HB>350...500);
- metoda Vickers, simbolizată prin grupul de litere HV, utilizată la determinarea durității suprafețelor dure.

O altă proprietate mecanică a materialului din care este confecționată cama este rezistența la uzare. Aceasta se poate măsura prin pierderea în greutate, raportată la

timp și la unitatea suprafeței de frecare în condiții determinate. Cea mai mare parte a organelor de mașini cu legături cinematice sunt scoase din funcționare datorită uzării, care limitează durabilitatea acestora. Efectul uzării mecanice este rezultatul mai multor cauze, dintre care: frecarea mecanică, oboseala, oxidarea, eroziunea, cavitația și coroziunea sunt cele mai importante.

Reziliența caracterizează comportarea materialului din care este confecționată cama la sarcini dinamice, aplicate brusc, prin șoc. Din acest punct de vedere se deosebesc oțelurile fragile, care se rup la șocuri mici, și oțeluri tenace, care se rup la șocuri puternice.

Practica îndelungată a construcției de mașini, experiențele sistematice, au dovedit că la solicitări variabile, materialele în general, și oțelurile în special rezistă mai puțin decât în cazul solicitărilor statice. Datorită oboselii materialului, determinată de solicitarea variabilă, cama se deteriorează după un număr limitat de cicluri. Principala caracteristică mecanică a materialului supus la solicitări variabile fiind rezistența la oboseală.

Mai sus s-a arătat că între camă și tachet apar presiuni mari de contact, deasemenea, mecanismul cu camă funcționează cu șocuri (moi sau dure), solicitările la care sunt supuse mecanismele cu camă sunt variabile iar cupla camă - tachet este o cuplă de frecare. Ținând cont de aceste solicitări, se impune ca stratul superficial al camei să fie dur și suficient de adânc. Pe lângă acesta, este necesar și un miez cu duritate mare. Între adâncimea stratului durificat și duritatea miezului există o strânsă legătură, și anume, la o duritate ridicată a miezului trebuie adoptată o adâncime mai mică a stratului durificat, și viceversa.

În cazul în care stratul durificat este prea subțire și miezul prea moale, valorile ridicate ale presiunii de contact produc un efect de penetrare numit "brinelare" (brinelling), asemănător cu acela întâlnit la încercarea durității, iar repetarea lor provoacă fenomenul de "pitting".

Apariția solicitărilor de șoc impune mărirea rezilienței miezului și a tenacității stratului superficial.

Adaosul de rectificare după durificarea stratului superficial trebuie să fie cât mai mic posibil, deoarece prin eliminarea stratului superficial se reduce atât rezistența la uzare cât și rezistența la oboseală. Acest fapt presupune ca abaterile de la profilul prescris al camei, obținute la operația de prelucrare anterioare tratamentului termic de durificare, să fie cât se poate de mici.

Luând în considerare cele mai sus menționate, așa cum s-a prezentat și în subcapitolul 2.2, se pot face următoarele precizări în legătură cu alegerea materialului din care se confecționează camele:

- ✓ Pentru camele supuse la solicitări ușoare se recomandă:
 - oțeluri carbon de cementare (OLC 10, OLC 15, OLC 20), cărora li se aplică tratamentul termic de cementare, urmat de călire;
 - fonte cenușii aliate, îmbunătățite sau normalizate și călite superficial.
- ✓ Camele supuse la solicitări medii se execută din:
 - oțeluri aliate de cementare (15C07, 17MoCr06, 18MnCr10), acestea conferind miezului proprietăți ridicate;
 - oțeluri carbon și aliate de îmbunătățire (OLC50, OLC55, OLC60 respectiv 34MoCrNi16, 34MoCr11, 30MoCrNi20, 35Mn16), îmbunătățite și călite superficial.
- ✓ Pentru camele supuse la solicitări mari se propun următoarele oțeluri:
 - Oțeluri înalt aliate de cementare (13CN23, 13CN33, 13NiCr30, 17MoCrNi14), acestea conferă miezului proprietăți deosebite, având

dezavantajul că operațiile de tratament termic sunt mai costisitoare datorită cantităților mari de austenită reziduală, rezultată în urma cementării și călirii.

Așa cum se poate observa la toate materialele mai sus propuse, tratamentul termic final este cel de călire. De regulă, călirea este inevitabil urmată de deformații termice ale camelor, ca urmare a tensiunilor termice și a transformărilor structurale produse în ele. Aceste deformații sunt cu atât mai mari cu cât mediul de călire este mai activ. La alegerea unui mediu de călire necorespunzător tensiunile interne pot provoca chiar distrugerea camei.

Aceste tensiuni interne pot produce pe suprafața activă a camei microfisuri, care datorită solicitărilor mari la care sunt supuse mecanismele cu came, în funcționare pot deveni fisuri, având în final ca și consecință scoaterea din uz a camei respective.

Din acest motiv este necesară efectuarea unei operații de control nedistructiv al suprafeței active a camelor, aceluia la care se depistează microfisuri fiindu-le exclusă posibilitatea de utilizare în cadrul mecanismului cu camă. Rebutarea unei came în urma tratamentului termic final are consecințe negative din punct de vedere economic, pe de o parte datorită faptului că materialul din care este confecționată cama este scump, iar pe de altă parte o camă ajunsă în acest stadiu de prelucrare încorporează o cantitate mare de manoperă.

Astfel, prin defectoscopie nedistructivă se înțelege examinarea efectuată cu scopul detectării defectelor macrostructurale interne și de suprafață. Pentru defectele interne se utilizează defectoscopia cu ultrasunete, iar pentru defecte de suprafață, defectoscopia cu pulberi magnetice sau cea cu lichide penetrante (spot-check).

2.4.2 Călire prin curenți de înaltă frecvență

Călire de suprafață este un tratament termic local care constă în încălzirea cu viteză mare a straturilor superficiale, la temperatura de austenitizare, urmată de o răcire bruscă; se realizează astfel o structură martensitică, cu o duritate pronunțată numai pe o anumită adâncime a conturului camei, în timp ce miezul nu suferă transformări fizice și nici modificări de proprietăți.

După modalitatea de execuție a fazei de încălzire rapidă, cele mai răspândite procedee de călire de suprafață sunt: prin curenți de înaltă frecvență și cu flacără oxigaz.

Avantajele încălzirii prin curenți de înaltă frecvență, față de încălzirea cu flacără oxigaz, constau în primul rând în posibilitatea de transmitere a unei densități superficiale de energie electrică, respectiv calorică, foarte mare. Dacă concentrația de energie calorică transmisibilă la încălzire cu flacără oxigaz este de $1000 \text{ [W/cm}^2\text{]}$, prin inducție se poate realiza o concentrație de energie pe suprafața piesei până la $100000 \text{ [W/cm}^2\text{]}$, iar vitezele de încălzire realizate pot fi de ordinul a $1000 \text{ [}^\circ\text{C/sec]}$.

Avantajele tehnologice și economice ale călirii prin curenți de înaltă frecvență, datorate vitezei mari de încălzire, sunt: productivitate ridicată a tehnologiei în comparație cu celelalte metode de durificare a suprafețelor; calitatea structurii de călire, fiind o structură martensitică foarte fină, hardenitică, fără caracter acicular la mărimi obișnuite microscopice; tendința redusă de supraîncălzire a austenitei, chiar la temperaturi ridicate; oxidarea neglijabilă și decarburarea inexistentă a suprafeței piesei; tendință micșorată sau chiar inexistentă la dezvoltarea fragilității de revenire înaltă; deformare și schimbare de volum, după călire, redusă la minim, în cazul aplicării corecte a tehnologiei; economie de energie consumată datorită stratului subțire afectat

de încălzire; randament termic ridicat, datorită fluxului caloric dirijat dinspre exteriorul piesei către interior; permite mecanizarea și automatizarea relativ ușoară a procesului, iar rezultatele sunt reproductibile; pornirea și oprirea rapidă a încălzirii reduce cheltuielile de mers în gol a instalației; dimensiunile mici ale dispozitivelor de călire permit așezarea mașinilor de călit prin curenți de înaltă frecvență, în fluxul tehnologic de fabricație; datorită calității ridicate a structurii de călire metoda permite, în multe cazuri, folosirea oțelurilor carbon în locul celor aliate, deficitare și scumpe; lipsa gazelor de ardere îmbunătățește radical condițiile de lucru. Dezavantajul călirii prin curenți de înaltă frecvență sunt investițiile relativ mari, ceea ce face ca procedeul să se preteze mai mult în cazul producției de serie.

Încălzirea prin curenți de înaltă frecvență este o încălzire electrică, la care piesa de încălzit absoarbe o energie electrică de la sursa de curent electric, fără ca ea să fie în contact galvanic cu această sursă. Transferul de energie electrică are loc prin intermediul unui câmp magnetic alternativ. În esență, sistemul de încălzire, reprezentat în figura 2.32, este un transformator compus dintr-o bobină primară, alimentată de la un generator de curent alternativ de o anumită frecvență, secundarul transformatorului este o bobină care înconjoară sau este în acoperirea camei de încălzit.

Camă, ca secundar al transformatorului, reprezintă de fapt o “bobină” masivă formată dintr-o singură spiră scurtcircuitată “în sine”.

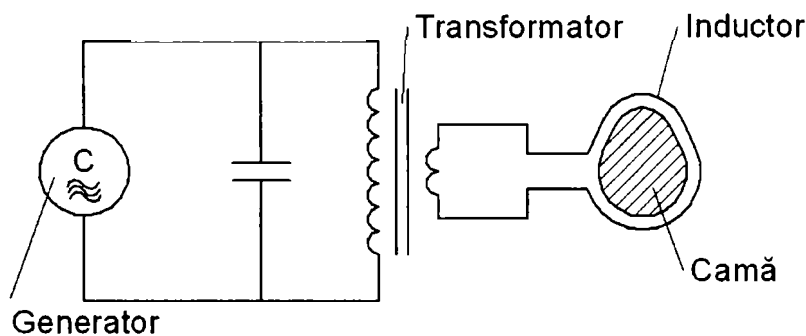


Fig. 2.32 Schema instalației de călire superficială prin curenți de înaltă frecvență

Curentul turbionar de scurtcircuitare indus în camă I_{ind} , pe baza principiului încălzirii rezistive, dezvoltă căldura necesară încălzirii camei, cantitatea de căldura fiind dată de relația:

$$Q_{cama} = 0,24 \cdot R \cdot I_{ind}^2 \cdot \tau \text{ [cal]} \quad (2.61)$$

unde:

R – este rezistența electrică a drumului curentului indus în camă, în [Ω]

I_{ind} - valoarea medie a curentului indus, în [A]

τ - durata, în [sec]

Adâncimea de pătrundere a curentului este dată de relația:

$$P = 5,03 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \text{ [mm]} \quad (2.62)$$

unde:

ρ - rezistivitatea materialului din care este executată cama [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$];

μ - permeabilitatea magnetică a materialului [Gs/Oe];

f – frecvența curentului [Hz].

Adâncimea de pătrundere a curentului depinde nu numai de frecvența curentului electric, ci și de proprietățile fizice ale materialului din care este executată cama. Pentru oțel, μ și ρ variază în funcție de temperatură, permeabilitatea se reduce de la 600-700 Gs/Oe la 1, după trecerea peste punctul Curie. În toate cazurile de încălzire prin curenți de înaltă frecvență, după depășirea temperaturii punctului Curie, oțelul își pierde proprietățile feromagnetice, ceea ce duce la reducerea vitezei de încălzire, după cum se poate observa în figura 2.33. Pentru alegerea unui regim de încălzire corect, este importantă viteza de încălzire după depășirea punctului Curie.

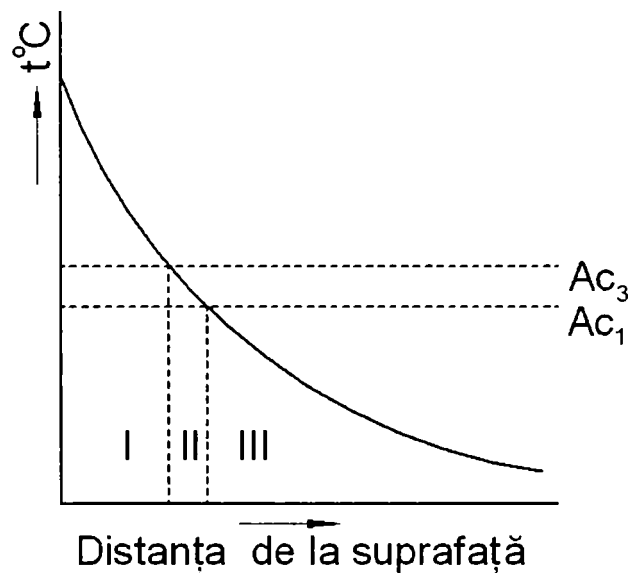


Fig. 2.33 Variația temperaturii în secțiunea camei, la încălzirea prin curenți de înaltă frecvență

Zona I unde s-a depășit A_{c3} va fi călită complet, structura este martensitică, zona II va fi călită incomplet, structura este formată din martensită și ferită, iar zona III nu se va căli, structura fiind cea inițială.

În zona II apare de obicei troostită, prezența în stratul călit a zonei troostito-martensitice se explică prin aceea că austensita formată la sfârșitul procesului de transformare din ferită în exces nu a putut dizolva o cantitate suficientă de carbon. Această zonă corespunde temperaturii mai scăzute.

Până în momentul răcirii cu jet de apă, căldura va pătrunde într-o anumită măsură spre interior, astfel că grosimea stratului călit va fi mai mare.

Tabelul 2.1.

Frecvența	P sub punctul Curie [mm]	P peste Punctul Curie [mm]	ZONA CĂLITĂ	
			Normal [mm]	Minim [mm]
3000 Hz	0,2	7	7 la 10	1,5
10000 Hz	0,1	4	3 la 5	1
100 KHz	0,04	1,2	2 la 3	0,7 la 0,8
500 KHz	0,03	0,7	1 la 2	0,5 la 0,6
1 MHz	0,02	0,4	0,5 la 1	0,25

În tabelul 2.1 sunt prezentate, pentru oțel, adâncimea de pătrundere a curentului P și adâncimea zonei călite σ , în funcție de frecvență.

Oțelurile utilizate pentru călirea superficială nu trebuie să aibă un conținut mai mare de 0,55 %C deoarece, peste această valoare duritatea nu crește simțitor, în schimb crește semnificativ sensibilitatea la fisurare.

În general, tratamentul termic de călire superficială prin curenți de înaltă frecvență, se aplică arborilor cu came monobloc, pentru motoare cu puteri până la 5000 CP, care se fabrică în producție de serie. O astfel de situație se întâlnește și la fabricarea arborilor cu came de la motorul tip R251, prezentați la paragraful 1.3.2. Tronsonul de arbore cu came din capătul liber (vezi figura 1.13), este tronsonul cu cele mai multe zone durificate prin călire superficială. În afara conturului camei, mai sunt durificate: fusurile lagărelor radiale și capătul frontal pe care este montat lagărul radial-axial, așa cum este arătat în figura 2.34. Duritatea prescrisă a conturului camei este de 58...62 HRC, adâncimea stratului durificat fiind cuprinsă între 2,6...3,8 mm. Călirea superficială se efectuează pe o instalație universală, FOF de 100kW și 8000Hz, inductorul utilizat fiind prezentat în figura 2.35. Pentru stabilirea parametrilor regimului de tratament termic, au fost călrite came de probă, cum este cea prezentată în figura 2.36, după care au fost pregătite și testate, în vederea determinării durității, a adâncimii stratului durificat (așa cum este prezentat la paragraful 2.4.4), precum și a structurii. Parametrii astfel determinați sunt prezentați în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2

Zonă de călit Parametrii	Camă de injecție	Camă ed admisie + evacuare	Tronson Ø114	Tronson Ø 86	Frontal / Ø86 / Ø114
Inductor	765 – 2010A	765 – 2110A	765 – 220	765 – 360	765 – 240
Modul de încălzire	Simultan	Simultan	Sucesiv	Simultan	Simultan
Raport de transformare	1/17	1/17	1/17	1/17	1/10
Nr. condensatori	2	2	1 1/2	2 + 3/4	1 + 3/4 + 1/4
Curent de excitație (A)	4.4 ... 4.6	4.2 ... 4.4	5.3 ... 5.6	5 ... 6	3.7 ... 4
Tensiune generator(V)	710 ... 730	670 ... 690	790 ... 810	790 ... 810	650 ... 700
Curent generator (A)	140 ... 160	140 ... 155	120 ... 130	140 ... 150	110 ... 125
Putere generator (kW)	90 ... 105	85 ... 90	85 ... 95	90 ... 100	70 ... 80
Cos φ	0.9 ... 0.95	0.9 ... 0.95	0.9 ... 0.97	0.9 ... 0.95	0.9 ... 0.95
Temperatură piesă (°C)	840 ... 860	840 ... 860	840 ... 860	840 ... 860	840 ... 860
Durata de încălzire (s)	11	11	–	10 ... 14	6 ... 8
Viteza de deplasare (mm/s)	–	–	3.2	–	–
Turația piesei (rot/min)	–	–	45	45	45
Modul de răcire	Simultan	Simultan	Sucesiv	Simultan	Simultan
Mediul de răcire	Apă industrială	Apă industrială	Apă industrială	Apă industrială	Apă industrială
Temperatura medie de răcire (°C)	Max. 25	Max. 25	Max. 25	Max. 25	Max. 25
Presiunea medie de răcire (daN/cm ²)	2 ... 3	2 ... 3	2 ... 3	2 ... 3	2 ... 3

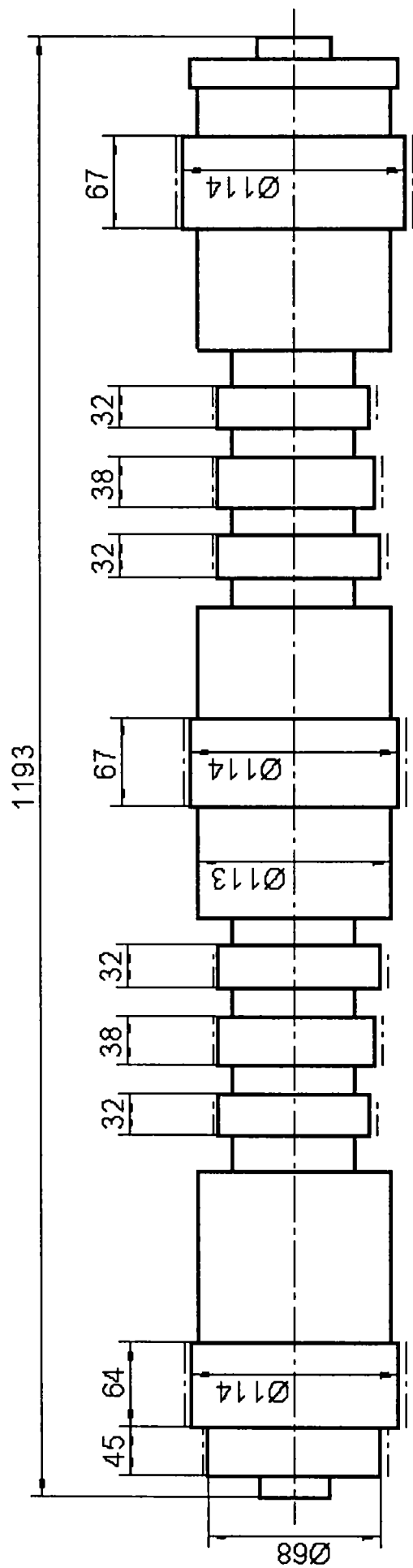


Fig. 2.34 Zonele durificate ale tronsonul de arbore cu came din capătul liber, al motoarelor tip R251

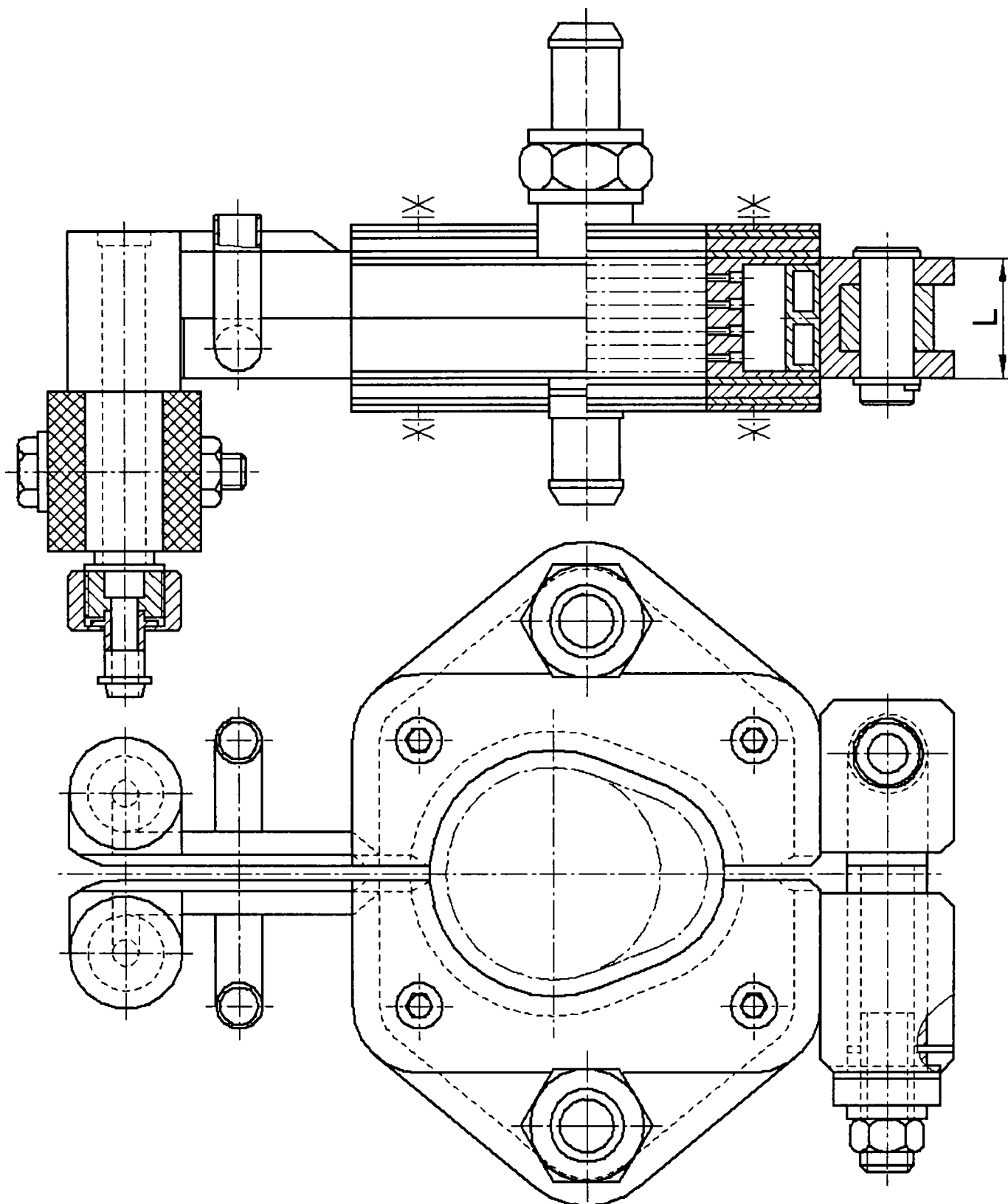


Fig.2.35 Inductor utilizat la călirea prin curenți de înaltă frecvență a conturului camelor de la motorul tip R 251

După operația de călire superficială prin curenți de înaltă frecvență, arborii cu came se detensionează într-un cuptor vertical, la temperatura de 160...200 °C, cu o durată de menținere la această temperatură de 2...3 ore. Această detensionare se execută cu scopul reducerii tensiunilor interne, fără efectuarea acestei operații existând pericolul ca la operația de rectificare a conturului să apară fisuri sau chiar dizlocări ale unor părți de material. Expuse acestor fenomene fiind muchiile adiacente conturului

camei, în special în zona de ridicare, cea de coborâre și de staționare superioară a tachetului.

Probele au fost verificate din punct de vedere metalografic. În urma acestei verificări nu s-a pus în evidență prezența fisurilor sau microfisurilor în stratul durificat prin călire superficială, cu parametrii regimului termic prezentați în tabelul 2.2.

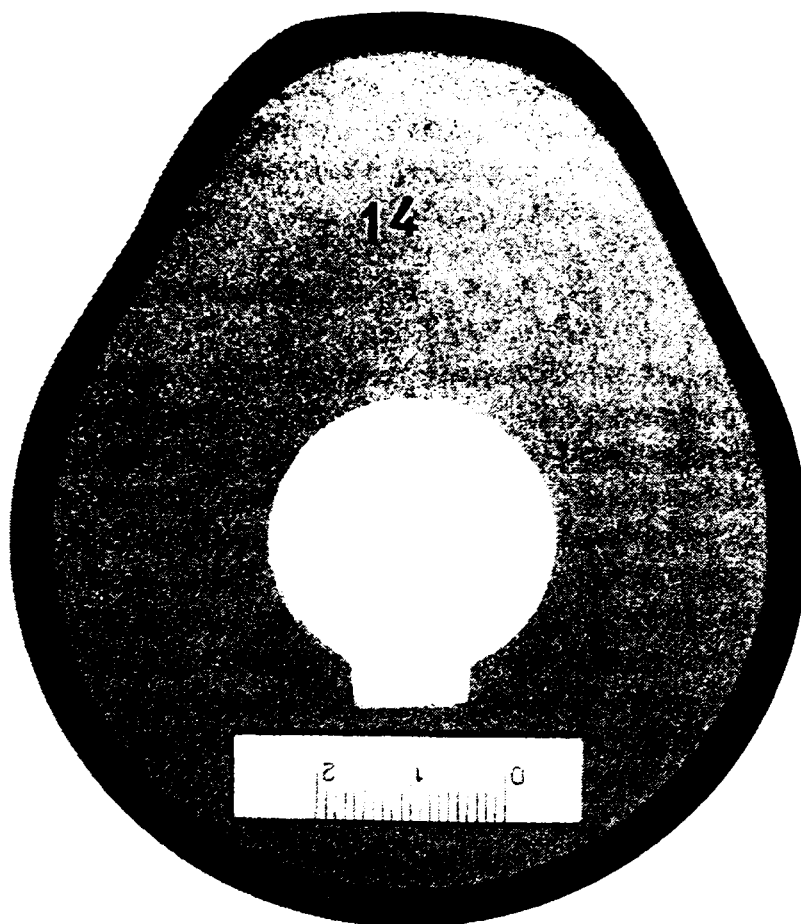


Fig. 2.36 Camă utilizată ca probă, pentru determinarea parametrilor regimului de tratament termic, la călire prin curenți de înaltă frecvență

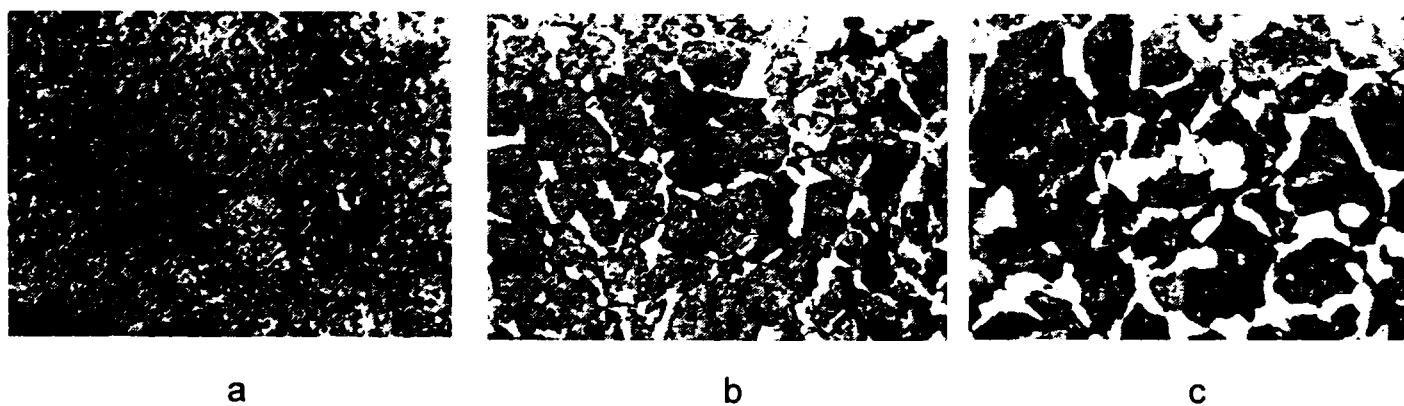


Fig.2.37 Structura stratului superficial durificat prin curenți de înaltă frecvență

Verificarea microscopică a zonei călitate superficial a pus în evidență următoarele structuri, prezentate în figura 2.37:

- zona periferică, a conturului camei, are o structură martensitică fină, cu caracter slab acicular, a;
- zona de trecere spre oțelul neafectat de tratamentul de călire, prezintă o structură constituită din martensită fină, puțină trostită și insule de ferită, b;
- în apropiere de oțelul netratat, structura este constituită din trostită, perlită fină și ferită în proporție considerabil mărită, c.

Parametrii astfel determinați au fost reglați la instalația de călire superficială prin curenți de înaltă frecvență, trecându-se la călirea camelor, fusurilor și suprafeței frontale a lagărului radial axial, în fabricația de serie.

2.4.3 Cementarea și călirea

Cementarea este un tratament termochimic de suprafață, care în linii mari urmărește același obiective ca și tratamentele termofizice de suprafață, adică proprietăți diferite la suprafața camei și în interiorul ei. Spre deosebire de călirea superficială prin curenți de înaltă frecvență, în urma căreia compoziția chimică a oțelului rămâne aceeași în întreaga secțiune a piesei, tratamentele termochimice de suprafață modifică compoziția chimică a piesei în straturile ei exterioare. Cementarea constă în îmbogățirea straturilor superficiale ale aliajelor feroase, sărace în carbon, cu atomi de carbon. Din punct de vedere chimic, este o carburare superficială până la o anumită concentrație, dorită, de carbon. Scopul cementării este realizarea unei suprafețe cu duritate mare, rezistentă la uzare și presiune de contact și a unui miez moale cu tenacitate mare, rezistent la șocuri. Prin cementare se mărește rezistența la oboseală datorită apariției tensiunilor remanente de compresie în stratul superficial.

Procesul de cementare, numit și carburare poate fi împărțit în trei etape componente, și anume:

- etapa termochimică de livrare, prin disocierea termică, din partea unui mediu carburant, a carbonului în stare activată, capabil să pătrundă în rețeaua cristalină a oțelului și transportul prin difuzie, respectiv prin convecție a carbonului activ la suprafața oțelului de cementat;
- etapa de absorbție a carbonului activ de către suprafața oțelului de cementat, adică o reacție de consumare prin legarea carbonului pus la dispoziție de către mediul carburant, fie prin dizolvare în Fe_α sau Fe_γ , fie printr-o reacție chimică formând carburi metalice;
- etapa de difuzie a carbonului absorbit de suprafața oțelului, către straturi mai adânci în oțel.

Carbonul poate intra în rețeaua atomică a oțelului la temperaturi ridicate, și numai dacă se găsește în stare atomică, născândă, separat practic dintr-o fază gazoasă indiferent dacă mediul de cementare este gazos, lichid sau solid. Faza gazoasă care cedează carbonul în stare născândă este de obicei monoxidul de carbon; sau carbonul activ poate proveni din descompunerea unor hidrocarburi saturate sau nesaturate.

Carburarea se realizează printr-o încălzire peste punctul A_{C3} , de obicei 870-950°C, într-un mediu solid, lichid sau gazos capabil să cedeze carbon atomic, menținerea în funcție de adâncimea dorită și apoi răcirea în anumite condiții. După carburare se aplică în mod obligatoriu tratamente termice, în general călire și revenire joasă, în funcție de proprietățile impuse pieselor.

Duritatea mare a stratului superficial, de peste 58 HRC, se obține prin îmbogățirea acestuia cu carbon, de regulă între 0,7-1,2 % carbon și apoi călire urmată de revenire joasă. Tenacitatea ridicată a miezului, rezultă în urma utilizării unor oțeluri cu conținut scăzut de carbon, sub 0,25 % de carbon.

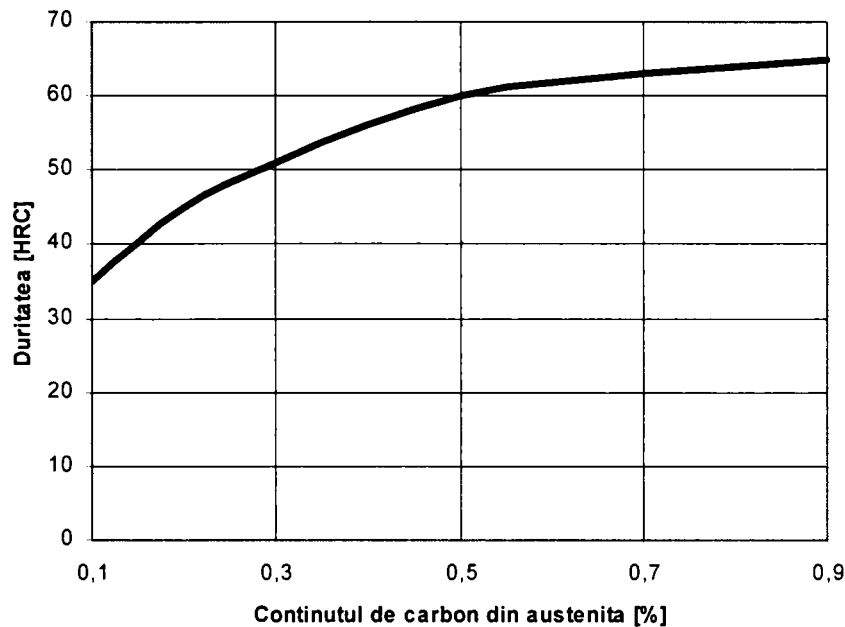


Fig. 2.38 Variația durității martensitei în funcție de procentul de carbon din stratul superficial

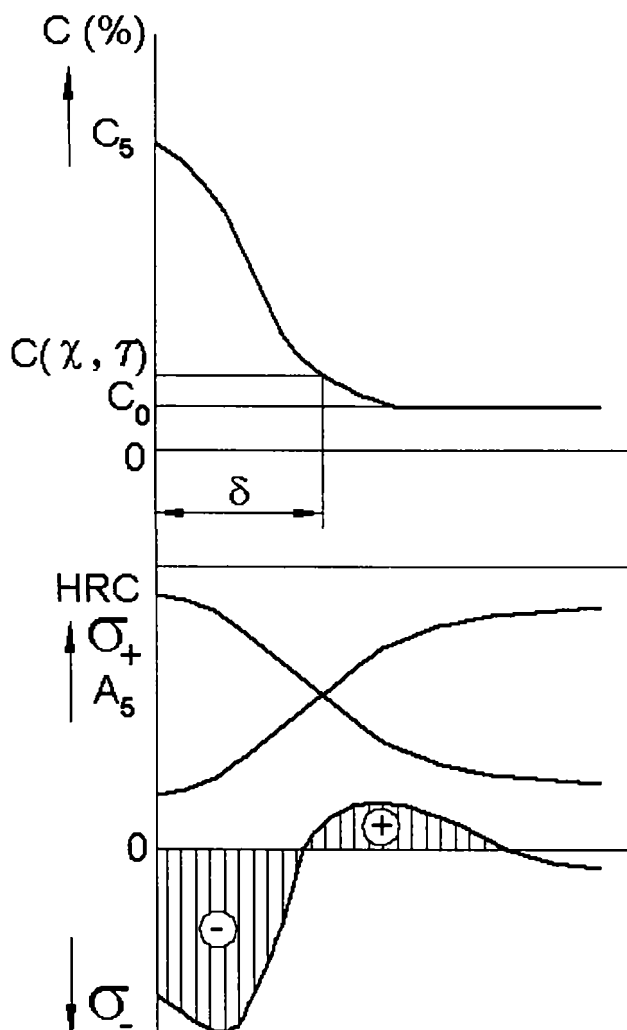


Fig 2.39 Distribuția carbonului în adâncime și corelația acesteia cu caracteristicile mecanice

Calitatea pieselor carburate este determinată de conținutul de carbon din suprafață, care, la rândul său, determină duritatea după călire, după cum se poate observa și în figura 2.38, de grosimea stratului carburat (δ) și de distribuția carbonului în adâncime, cum este reprezentat și în figura 2.39, de aceasta depinzând distribuția durității HRC, alungirii specifice A_5 și a tensiunilor remanente σ , [91].

Obținerea caracteristicilor precizate la valori prescrise este posibilă dacă printr-o serie de măsuri este făcută îngrijit, (aceasta presupune curățire mecanică urmată de degresare) și prin alegerea corespunzătoare a următorilor parametri tehnologici: potențialul de carbon al mediului de lucru; potențialul de carbon corespunzător activității carbonului în austenită; coeficientul de transfer de carbon K [Cm/s]; temperatura de carburare; durata de carburare.

Comportarea în exploatare a camelor carburate este determinată de caracteristicile stratului carburat obținute în urma călirii și revenirii joase. Adâncimea stratului durificat al conturului camei, se alege în funcție de solicitările pieselor și de tehnologia de fabricație. Presiunea de contact exercitată de rola tchetului asupra suprafeței carburate a conturului camei, se transmite în adâncimea stratului. Solicitarea cea mai periculoasă, la care este supus stratul durificat, este solicitarea de forfecare. Dacă pe o suprafață se aplică aceeași presiune, distanța de la suprafață până la eforul maxim de strat crește pe măsura creșterii suprafeței pe care acționează forța.

Mecanismele cu came, care fac parte din mecanismul de distribuție al motoarelor cu ardere internă, sunt solicitate la oboseală. Din acest punct de vedere, distribuția tensiunilor de compresiune în stratul carburat și călit, favorizează creșterea rezistenței la oboseală a camei. Importanță prezentând atât modul în care se realizează corelarea între grosimea stratului carburat și solicitările camei, cât și între conținutul marginal de carbon și distribuția carbonului în strat, [94].

Camele individuale utilizate la motoarele cu ardere internă sunt executate din oțeluri pentru cementare, așa cum s-a prezentat și la paragraful 1.3.1. Funcție de solicitările la care este supus conturul camei este stabilită adâncimea minimă a stratului cementat și călit, după operația de prelucrare mecanică finală a conturului. La camele utilizate la motoarele tip MAN adâncimea minimă prescrisă a stratului durificat este de 3 mm, cu o duritate de 62...64 HRC. La camele utilizate la motoarele Burmeister&Wein adâncimea minimă a stratului este de 1,8 mm, iar duritatea, 58...62 HRC.

Indiferent de adâncimea stratului durificat, itinerariul tehnologic aplicat camelor executate din oțeluri pentru cementare este același, diferind prin parametrii regimurilor aplicate. Principalele operații de tratament termic și prelucrări mecanice, specifice generării conturului camelor, sunt următoarele:

- Înaintea operației de cementare conturul camei este frezat și rectificat, operația de rectificare având rolul îndepărtării abaterilor de la prelucrarea primară a conturului și a uniformizării adaosului de prelucrare după cementare;

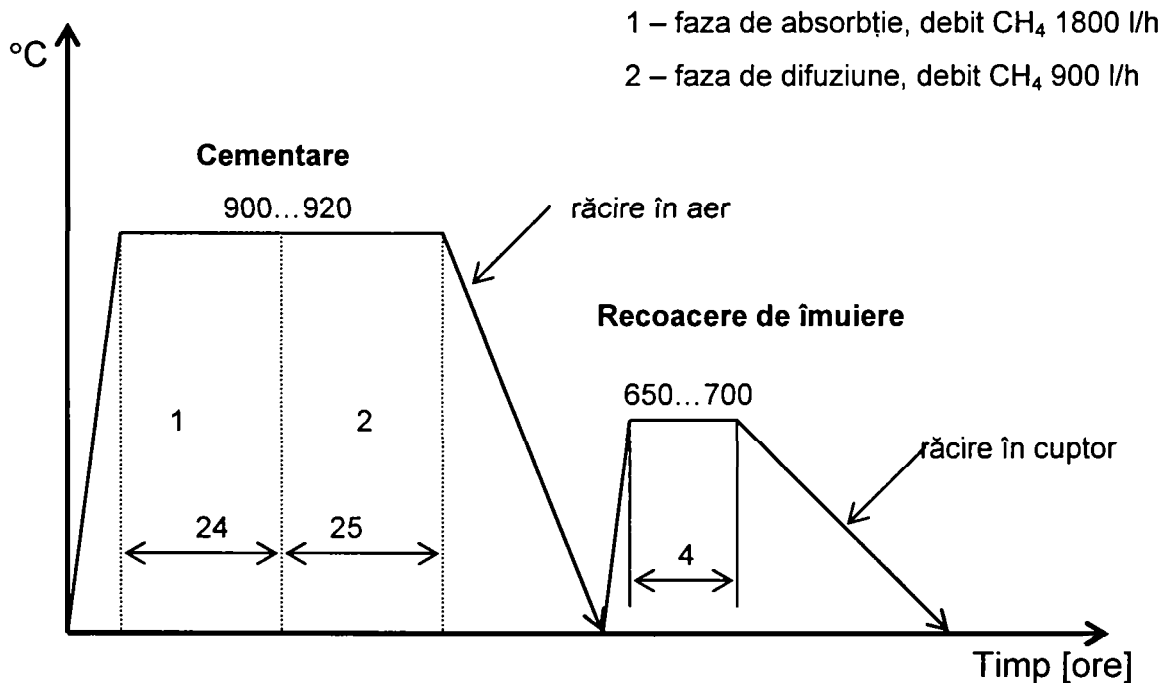


Fig. 2.40 Ciclograma regimului de cementare

- Cementarea camelor se efectuează în mediu gazos, într-un cuptor vertical cu retortă, mediul carburant fiind gazul metan brut (CH_4). Cementarea este urmată de o recoacere de îmuiere. Ciclograma regimului de carburare a camelor de la motoarele MAN este prezentată în figura 2.40;
- Operația de cementare este urmată de prelucrări mecanice, având ca scop îndepărtarea stratului de material cementat de pe suprafețele care nu trebuie să fie durificate;
- Călire I, este efectuată cu scopul obținerii caracteristicilor mecanice ale miezului camei, în cuptor electric vertical, urmat de revenire înaltă. Ciclograma operației este prezentată în figura 2.41;

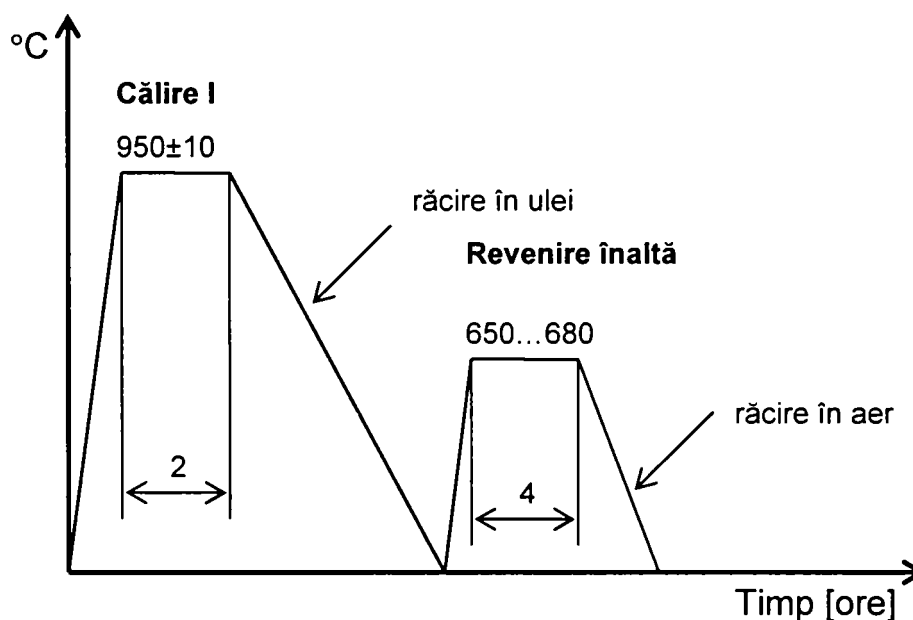


Fig. 2.41 Ciclograma regimului de călire I

- Rectificare conturului camei, executată cu scopul de-a uniformiza adaosul de prelucrare la rectificarea finală a conturului, îndepărtând astfel eventualele deformări datorate tratamentelor termice anterioare și abaterilor introduse de operațiile de prelucrare anterioare;

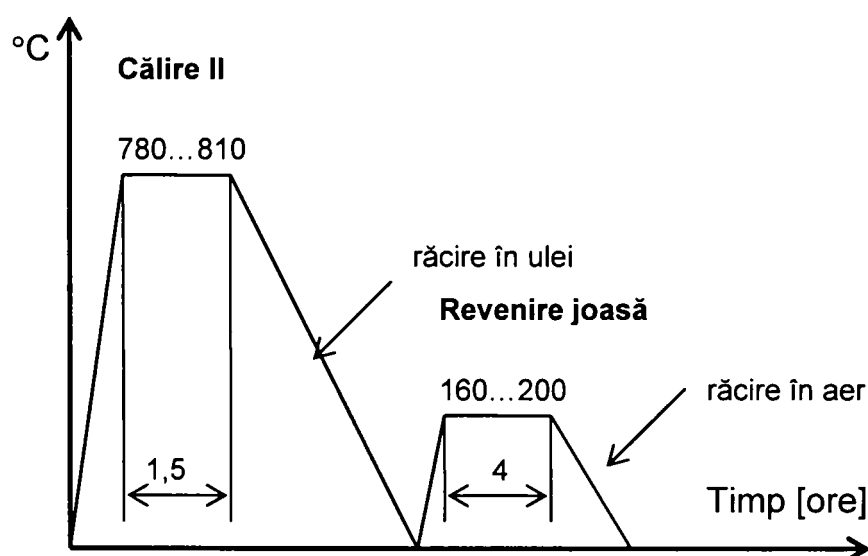


Fig. 2.42 Ciclograma regimului de călire II

- Călire II, executată în scopul durificării stratului superficial, cementat, al conturului camei, urmat de revenire joasă. Ciclograma operației de călire II este prezentată în figura 2.42
- După călirea stratului superficial urmează rectificarea conturului camei, scopul fiind de a obține precizia dimensională dorită, atât pentru cotele de gabarit ale camei cât și a profilului, la rugozitatea impusă, respectând adâncimea și duritatea impusă stratului cementat călit.

Odată cu camele, parcurg operațiile de tratament termic și probele martor, acestea fiind executate din material ce provine din aceeași șarjă cu materialul camei. Probele au dimensiuni standardizate, de regulă $\Phi 20 \times 150$ mm, și servesc la verificarea metalografică a structurii obținute, a adâncimii și durității stratului cementat călit. În ceea ce privește structura stratului cementat și călit, aceasta prezintă carburi fine globulare, uniform repartizate, pe un fond martensitic criptocristalin. Aceasta trebuie să fie uniformă și fără rețea de cementită. Adâncimea și duritatea stratului durificat se determină așa cum este arătat în paragraful următor.

2.4.4 Metode de verificare a durității și grosimii stratului durificat

Așa cum s-a arătat, scopul tratamentului termic secundar aplicat camelor este de-a obține pe conturul camei un strat de material durificat. Verificarea uniformității structurii martensitice de-a lungul conturului camei și corectitudinea procesului termic se evaluează prin determinarea durității.

Duritatea se definește ca fiind capacitatea materialului de-a se opune penetrării de către un alt material mai dur. Se utilizează mai multe metode de determinare a durității materialelor. În principal acestea se împart în două mari categorii: convenționale și neconvenționale.

Dintre metodele convenționale cele mai utilizate sunt:

- **Brinell**, dezvoltată în anul 1900, se simbolizează prin HB. Principiul acestei metode este de-a apăsa cu o forță F , o bilă dură din metal de diametrul D , pe suprafața ce se dorește a fi testată. Amprenta este circulară, iar prin determinarea diametrului d al amprentei, ca medie aritmetică a valorilor citirilor pe două direcții perpendiculare, valoarea durității HB se stabilește utilizând

$$\text{relația: } HB = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.63);$$

- **Vickers**, dezvoltată în anul 1925, se simbolizează prin HV. Principiul acestei metode constă în apăsarea pe suprafața ce se dorește a fi testată, a unei piramide de diamant cu unghiul la vârf de 136° , cu o forță F , măsurarea ambelor diagonale ale amprentei și stabilirea mediei aritmetice d . Valoarea

$$\text{durității HV se stabilește cu relația: } HV = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (2.64);$$

- **Rockwell**, dezvoltată în anul 1931, se simbolizează prin HRC. Are la bază același principiu ca și la metoda Vickers, doar penetrarea este făcută de către un con de diamant și se măsoară adâncimea amprentei t . Valoarea durității

$$\text{HRC se obține cu relația: } HRC = 100 - \frac{t}{0,001} \quad (2.65).$$

Dintre metodele neconvenționale, cele mai larg utilizate sunt:

- **metoda impactului** (Leeb), are la bază principiul metodei Shore, dezvoltată în 1907. Se folosește un dispozitiv de impact, format dintr-un arc care propulsează printr-un tub de ghidare, spre suprafața care urmează a fi testată, un corp de impact. Corpul de impact generează un semnal într-o bobină înfășurată pe tubul de ghidare, așa cum este reprezentat în figura 2.43. După impact, corpul ricoșează de pe suprafața testată, introducând un al doilea semnal în bobină. Instrumentul pentru determinarea durității calculează valoarea durității, folosind raportul tensiunilor induse și analizează fazele lor pentru a compensa automat schimbările de orientare ale corpului de impact;

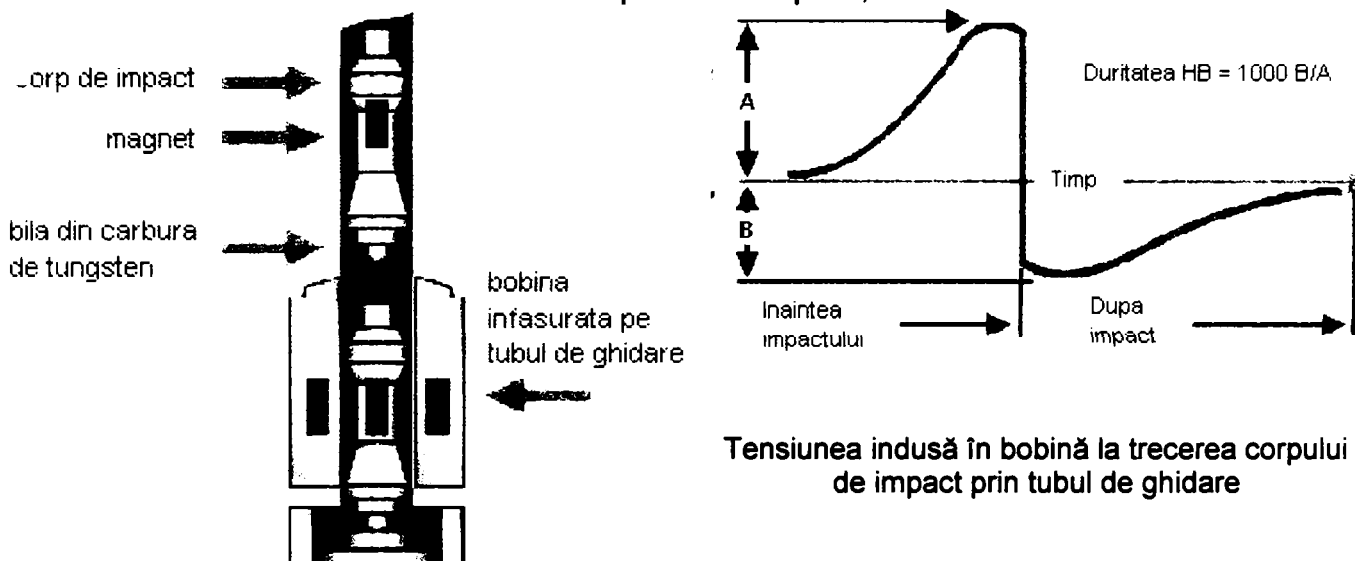


Fig. 2.43 Schema instrumentului pentru determinarea durității prin metoda impactului

- **metoda UCI** (impedanță ultrasonică de contact): o tijă conținută într-o sondă, cu un diamant Vickers atașat la vârful de contact, este rezonată de un traductor din ceramică piezoelectrică, la o frecvență ultrasonică. Un arc aplică asupra sondei sarcina de testare, tija își schimbă frecvența proporțional cu aria de contact a urmei produse de diamant, cum este reprezentat în figura 2.44. Instrumentul de măsură monitorizează frecvențele, face calculația și afișează instantaneu valoarea durității.

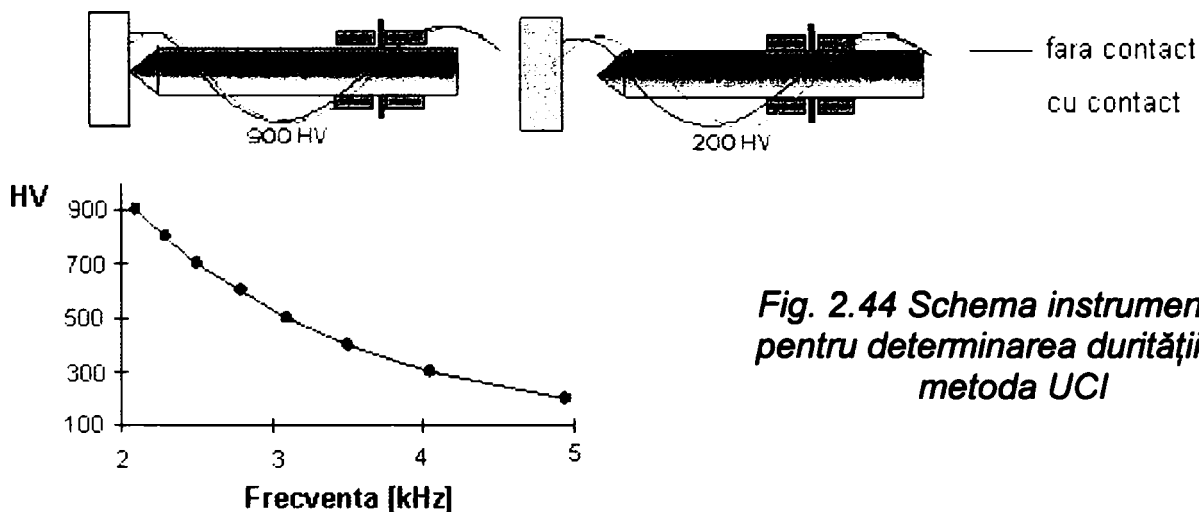


Fig. 2.44 Schema instrumentului pentru determinarea durității prin metoda UCI

La selecția metodei pentru determinarea durității stratului durificat de pe conturul camei trebuie să se aibă în vedere următoarele aspecte:

- arborii cu came și camele individuale utilizate la motoarele Diesel de puteri mari nu ridică probleme din punct de vedere al masei. La piesele ușoare și cu pereți

- subțiri pot fi înregistrate abateri la determinarea durității. La determinarea durității stratului durificat al conturului camei orice metodă poate fi aplicată;
- din punct de vedere al valorii durității ce trebuie determinată, cea mai indicată este metoda Rockwell. De regulă, duritatea stratului durificat al conturului camelor trebuie să fie cuprinsă în intervalul 58...62 HRC;
- aparatele clasice sunt mai greu de utilizat la determinarea durității stratului durificat al conturului camelor, deoarece configurația profilului poate ridica probleme la testarea cu instrumente clasice. Dimensiunile de gabarit și greutatea arborilor cu came monobloc și a camelor individuale pot crea deasemenea probleme tehnologice la determinarea durității. Instrumentele neconvenționale pentru determinarea durității sunt recomandate din toate punctele de vedere pentru stabilirea durității stratului durificat;
- contactul dintre camă și tachet fiind liniar, se preferă la alegerea metodei de determinare a durității aceea care asigură după testare o dimensiune minimă a amprentei, pentru a nu mări presiunea de contact în zona supusă testării.

Indiferent de metoda de determinare a durității, calitatea suprafeței conturului camei poate influența valoarea durității. După operația de tratament termic secundar, suprafața ce trebuie testată este oxidată. Prin sablare sau polizare cu discuri abrazive, oxizii trebuie să fie îndepărtați. Operația de polizare trebuie astfel făcută încât să nu fie supraîncălzită zona ce urmează a fi testată. Prin supraîncălzire locală, structura obținută în urma tratamentului termic secundar poate fi modificată și ca urmare valoarea durității determinată în aceea zonă poate fi eronată. În graficul din figura 2.45 este prezentată situația comparativă a determinării durității aceleiași suprafețe durificate, pregătită pentru testare prin mai multe procedee.

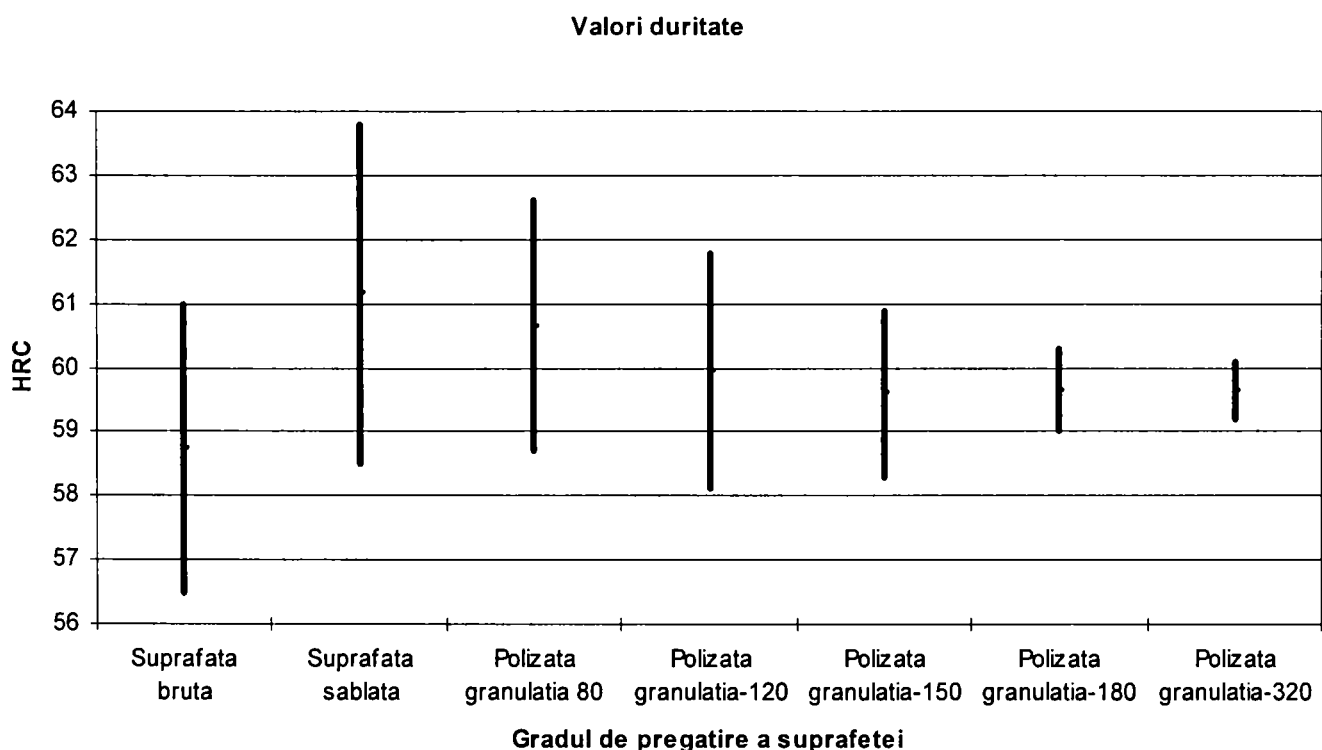


Fig. 2.45 Valorile determinate ale durității funcție de gradul de pregătire al suprafeței

După cum se poate observa, un grad de pregătire al suprafeței prin polizare cu disc abraziv având o granulație de 180, asigură determinarea durității cu o precizie satisfăcătoare. Pentru a reduce posibilitățile de eroare la determinarea durității, înaintea testării piesei se recomandă o verificare a calibrării instrumentului de măsură. Această

verificare se face prin determinarea durtății unor blocuri etalon de testare. Abaterea medie a cinci citiri trebuie să fie cuprinsă între $\pm 1\%$ din valoarea certificată a blocului etalon de testare.

Așa cum s-a arătat în cele de mai sus, de preferat ar fi utilizarea metodelor neconvenționale. Dintre acestea, recomandată este utilizarea metodei UIC, deoarece amprenta lăsată pe suprafața testată la această metodă are o lățime mai mică, așa cum se poate observa din situația comparativă prezentată în tabelul 2.3, valorile fiind în μm .

Tabel 2.3

Durtate	Metoda impactului		Metoda UIC			
	Sferă-5 mm 90 N·mm	Sferă-3 mm 12 N·mm	Forța			
			5 kgf	1 kgf	0,8 kgf	0,3 kgf
64 HRC	-	350	107	48	43	25
55 HRC	899	449	124	56	51	28
30 HRC	1031	541	175	79	71	41

De asemenea adâncimea amprentei la testarea prin metoda UIC este mai mică decât la metoda impactului, valorile comparative exprimate în μm sunt prezentate în tabelul 2.4.

Tabel 2.4

Durtate	Metoda impactului		Metoda UIC			
	Sferă-5 mm 90 N·mm	Sferă-3 mm 12 N·mm	Forța			
			5 kgf	1 kgf	0,8 kgf	0,3 kgf
64 HRC	-	16	16	7	7	4
55 HRC	63	28	20	9	8	5
30 HRC	83	35	25	17	10	6

Instrumentele neconvenționale pentru determinarea durtății au avantajul că sunt portabile. În funcție de seria de fabricație, de gabaritul și greutatea arborilor cu came monobloc sau al camelor individuale, se justifică dotarea instrumentelor cu accesorii cum ar fi dispozitiv de susținere al pieselor, sănii pentru deplasarea pieselor, etc.

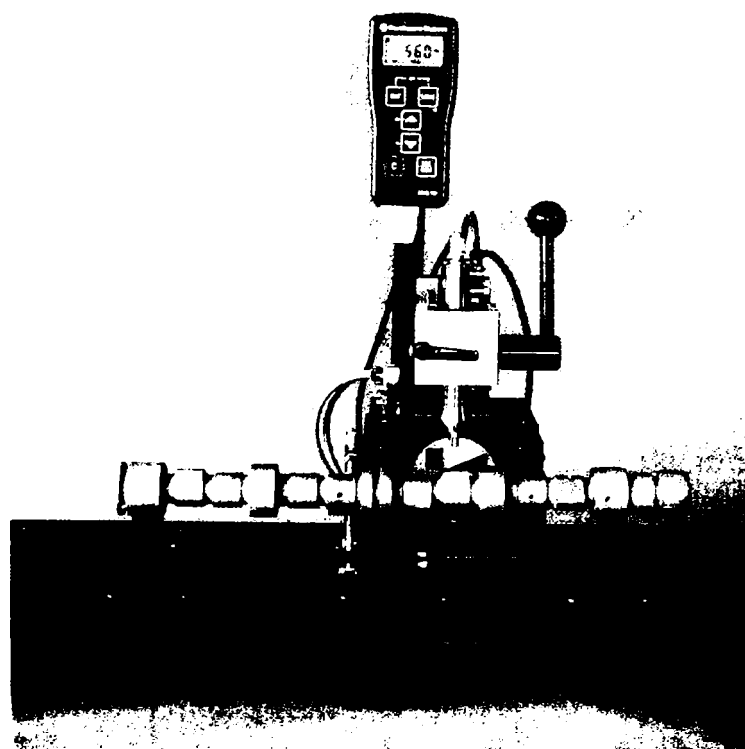


Fig. 2.46 Verificarea durtății conturului camelor, prin metoda UIC, în fabricația de serie mare a arborilor cu came monobloc

Un exemplu de astfel de dotare cu accesorii a instrumentului de testare a duriții prin metoda UIC, a arborilor cu came monobloc în producția de serie mare, este prezentat în figura 2.46.

Așa cum se poate observa, instrumentul de măsurare a duriții este amplasat pe un batiu, prin intermediul unei sănii, ce poate culisa împreună cu instrumentul pe ghidajul batiului, în vederea trecerii de la o camă la alta și pentru a putea testa mai multe puncte de-a lungul aceleiași generatoare a conturului camei. Pe același batiu sunt amplasate prismele V, pentru susținerea arborelui cu came monobloc. Arborele cu came monobloc se poate roti în jurul axei sale, pentru a putea acoperii întreaga circumferință a conturului camei.

În cazul camelor individuale, a căror fabricație are de regulă caracter de unicat sau serie mică, este recomandabilă utilizarea unor instrumente portabile, dotarea cu accesorii a unui instrument de măsurare a duriții fiind prea costisitoare. Un asemenea instrument portabil, care măsoară duritatea prin metoda impactului, este prezentat în figura 2.47.

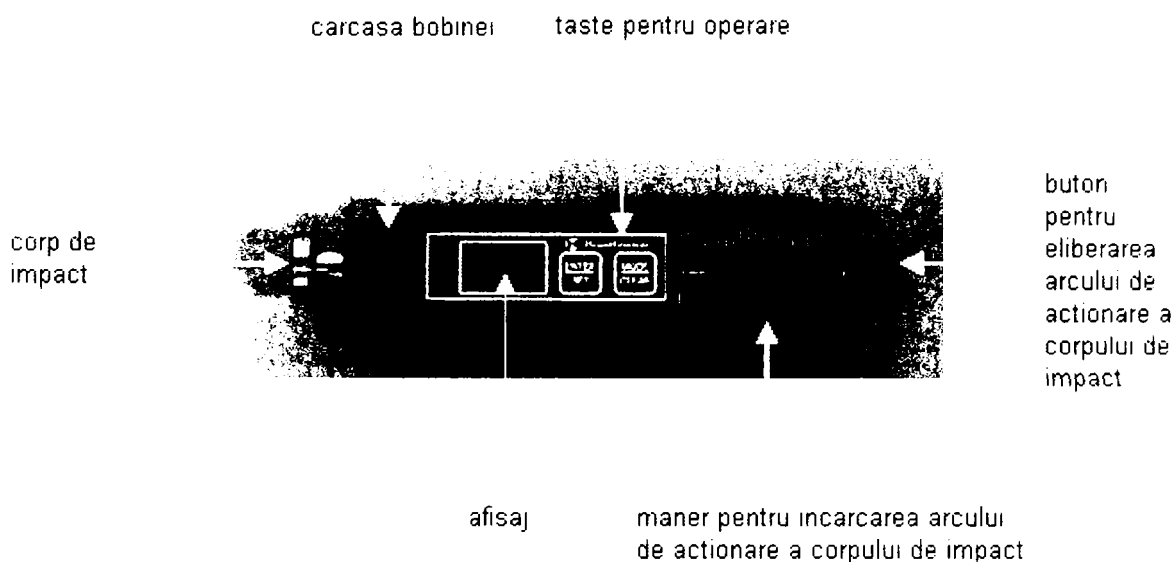


Fig.2.47 Instrument portabil pentru determinarea duriții prin metoda impactului

Pentru determinarea adâncimii stratului durificat se utilizează, în principal, două metode: cea metalografică și cea a măsurării duriții.

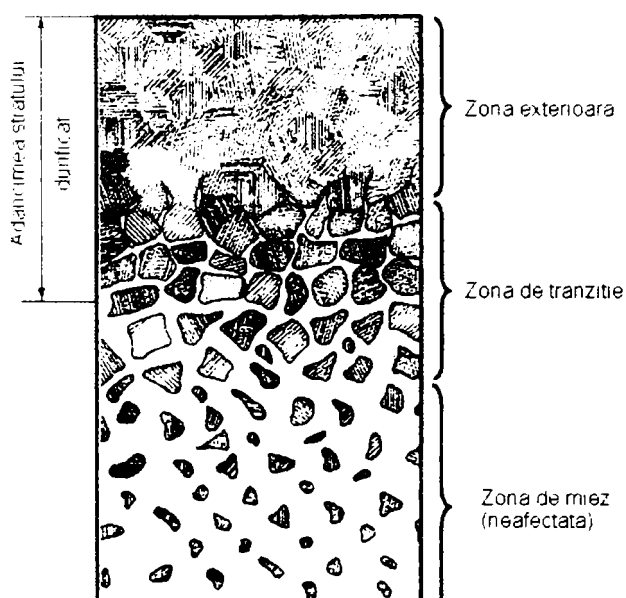


Fig. 2.48 Microstructura stratului durificat

Metoda metalografică se aplică, de regulă, pe probe martor sau pe probe luate din piese. Din acest motiv această metodă se aplică în cazul camelor al căror contur a fost durificat prin cementare și călire. În cazul camelor durificate prin călire superficială, prin curenți de înaltă frecvență, această metodă a fost folosită doar pentru stabilirea parametrilor regimului termic, în faza de experimentare, nefiind utilizabilă în producția de serie. Metoda se pretează la determinarea adâncimii stratului durificat prin cementare și călire, așa cum s-a arătat, la toate operațiile de tratament termic camele fiind însoțite de probe martor,

care înainte de analiza metalografică sunt pregătite prin șlefuire, lustruire și atac cu reactivi. Examinarea se face cu ajutorul unui microscop, cu puterea de mărire de 100 de ori, iar măsurarea adâncimii se efectuează cu ajutorul ocularului micrometric. Examinarea probelor se face pe întreaga periferie, adâncimea minimă a stratului durificat se poate indica cu precizia de 0,1 mm. Microstructura stratului durificat este prezentată în figura 2.48, adâncimea convențională a stratului durificat, este dată de grosimea zonei exterioare plus jumătate din zona de tranziție.

Metoda măsurării duriității este cea mai adecvată metodă pentru determinarea adâncimii stratului durificat. Măsurările de duritate se fac la diferite distanțe de la suprafața durificată a camei, într-o direcție perpendiculară pe aceasta. În figura 2.49 sunt prezentate amprente pentru determinarea adâncimii stratului durificat.

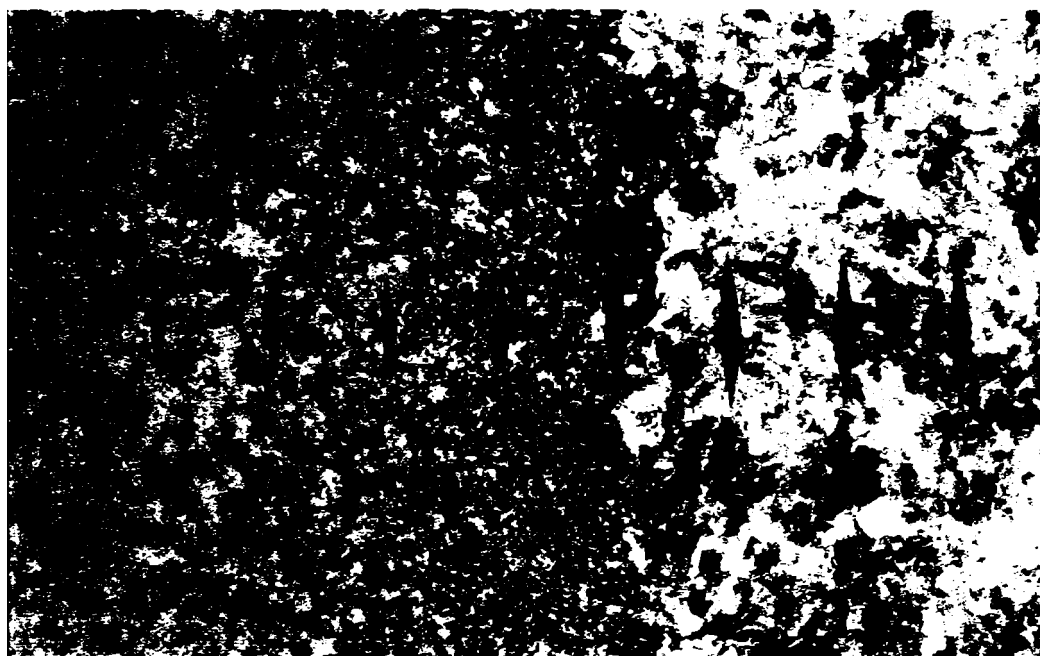


Fig.2.49 Determinarea adâncimii stratului durificat prin metoda duriității

Măsurările sunt efectuate numai prin metoda Vickers, cu sarcina de încărcare de 10 kN, iar adâncimea convențională a stratului durificat este considerată ca distanța de la suprafață până la punctul în care duritatea este de 550 HV.

O situație deosebită este întâlnită în cazul durificării stratului superficial al conturului camelor, de pe arbori cu came monobloc, prin curenți de înaltă frecvență, cum este cel prezentat la paragraful 2.4.2. În această situație, camele de probă au fost examinate din punct de vedere al duriității de-a lungul conturului, în șase zone, așa cum este prezentat în figura 2.50. În aceste zone au fost efectuate determinări ale duriității pe o adâncime de 5 mm, din 0,25 în 0,25 mm. Valorile durițiilor obținute pentru proba prezentată în figurile 2.36 și 2.37, sunt reprezentate în graficul din figura 2.51. Adâncimea convențională de călire prin curenți de înaltă frecvență, este distanța de la suprafața durificată până în punctul în care duritatea corespunde unei valori indicate prin expresia „duritate limită”. Valoarea considerată a duriității limită este de 80% din valoarea minimă a suprafeței durificate. În cazul camelor de la motoarele R 251, duritatea minimă prescrisă stratului superficial este de 58 HRC, situație în care duritatea limită este de 46,4 HRC. Adâncimea minimă prescrisă a stratului durificat este de 2,5 mm, după operația de rectificare finală. Observând graficul din figura 2.51 se poate constata că la o adâncime de 3,5 mm s-a atins duritatea limită, care asigură în urma rectificării finale obținerea grosimii minime a stratului durificat.

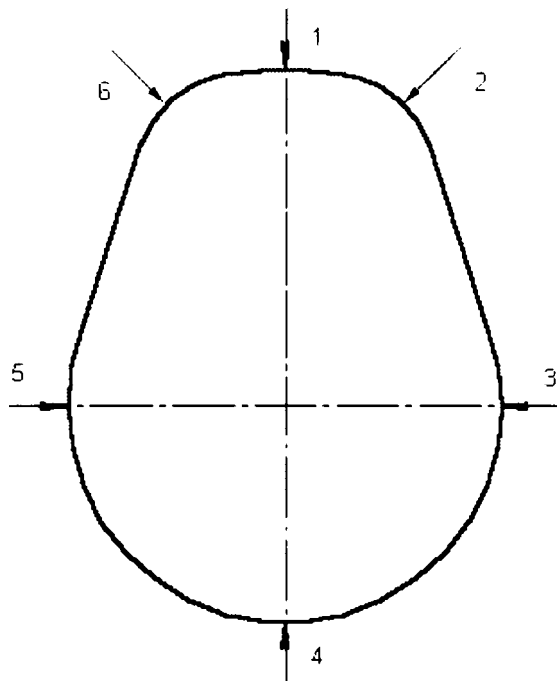


Fig. 2.50 Zonele conturului camelor de probă, de la motorul R 251, în care s-a determinat adâncimea stratului durificat prin curenți de înaltă frecvență

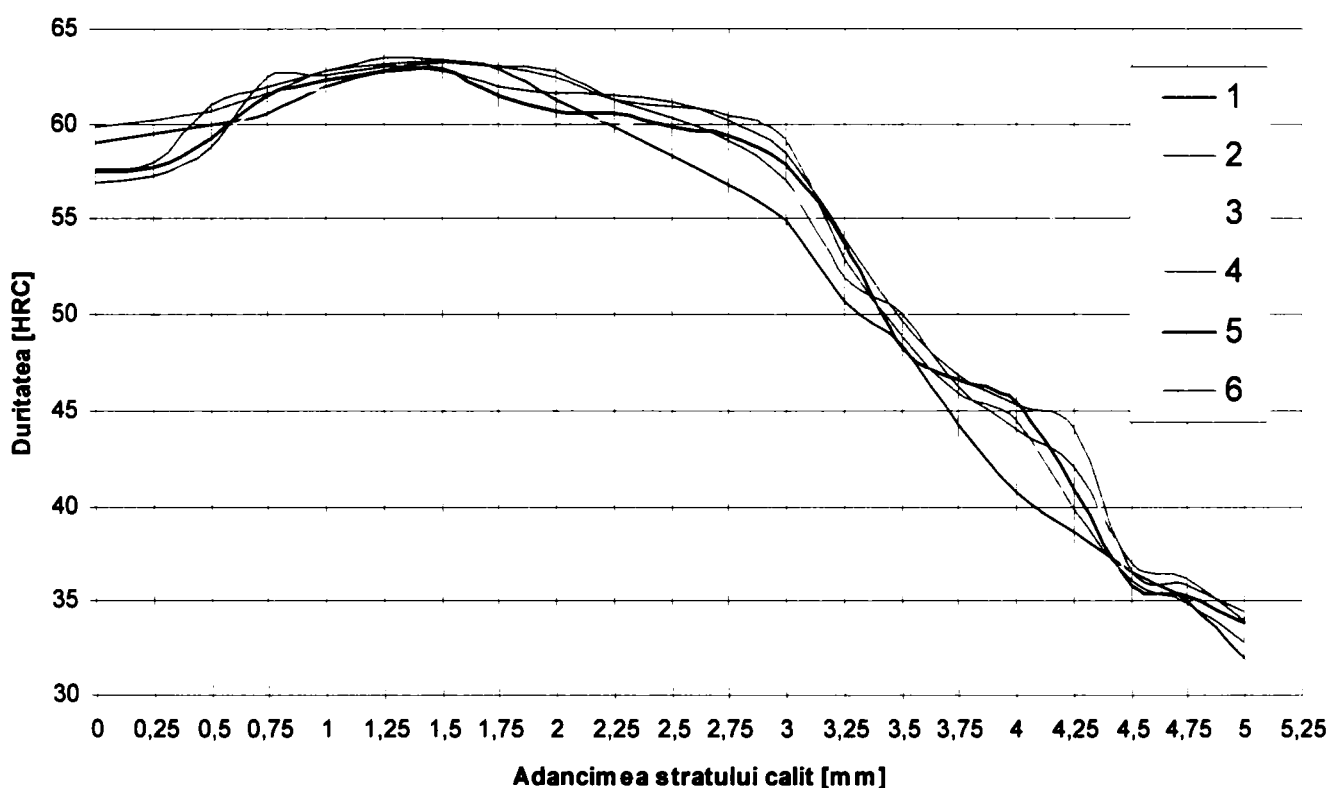


Fig. 2.51 Adâncimea stratului călit prin curenți de înaltă frecvență, determinată prin metoda duriității

La alegerea regimului de tratament termic s-a avut în vedere obținerea unei adâncimii mai mari a stratului durificat, deoarece în exploatarea motoarelor termice poate să apară situația în care conturul camei se uzează, acesta necesitând rectificare pentru readucere în parametrii prescriși. Dacă din faza de proiectare tehnologică nu se ține seama de acest aspect, există riscul de-a nu putea recondiționa conturul camei în perioada exploatării.

2.5 Rectificarea profilului camelor

Așchiera cu scule abrazive este, cu siguranță, cel mai vechi și în același timp cel mai modern procedeu de prelucrare. Putem spune că așchiera cu scule abrazive este cel mai vechi procedeu de prelucrare, cunoscând că primele arme de vânătoare făcute de om aveau la bază acest proces. Respectiv răzuirea cu pietre dure, cum este gresia, a oaselor de animale în scopul obținerii unor arme dure și ascuțite, de exemplu vârfuri de săgeți. Putem spune că este cel mai modern procedeu, având în vedere că tehnologiile de vârf au introdus materiale noi, cum sunt carburile, cristalele speciale dezvoltate de industria electronică, ș.a., având o duritate foarte ridicată, care pot fi prelucrate numai prin așchiere cu scule abrazive.

Între timp, locul gresiei a fost luat de sculele abrazive sofisticate, de diferite forme și configurații, având la bază materiale abrazive sintetice, cu proprietăți așchietoare ridicate. Deasemenea, locul dispozitivelor și al măiestriei necesare la răzuirea manuală a fost luat de mașini moderne, capabile să dezvolte viteze de așchiere și precizii ridicate. De altfel, din totalitatea mașinilor - unelte, mașinile de prelucrat prin așchiere cu scule abrazive reprezintă 30%.

Materialele abrazive utilizate în prezent sunt de o mare diversitate: oxidul de aluminiu, carbura de siliciu, carbura de bor, nitrura cubică de bor și diamantul. Aceste materiale abrazive sunt legate între ele cu lianți ceramici, silicioși, magnezitici, bachelitici, vulcanitici, metalici, etc. Materialele abrazive pot avea diferite granulații, și pot fi înglobate în anumite volume ale corpului abraziv, respectiv cu anumite porozități.

Consecința acestei multitudini de posibilități de formare a corpurilor abrazive este faptul că, pentru fiecare tip de operație de prelucrare și pentru fiecare tip de material prelucrat, considerat ca optim, corespunde un anumit tip de corp abraziv.

În acest scop, este necesară cunoașterea elementelor componente ale corpului abraziv și a influenței fiecărui component.

2.5.1 Scule abrazive

Sculele abrazive se realizează sub formă de: discuri, benzi, bare, paste, suspensii și granule libere. La rectificarea profilului camei se utilizează ca scule abrazive, discurile. Acestea pot fi considerate ca fiind scule multitaș, cu un număr imens de elemente așchietoare – granule abrazive, de formă, geometrie și dimensiuni diferite, unite de lianți într-o masă compactă. Muchiile așchietoare ale granulelor abrazive ale discurilor se găsesc la distanțe diferite față de suprafața activă și de aceea lucrează în condiții diferite de sarcină și temperatură. La un număr mare de granule pe suprafața activă a discului abraziv (1000...5000), se poate presupune că lucrează simultan doar câteva sute, în funcție de granulația discului, suprafața de contact a acestuia cu cama de prelucrat, și regimul de așchiere. Dimensiunile așchiei și deci durabilitatea discului abraziv, precum și calitatea suprafeței prelucrate, vor fi determinate de diferiți factori, în speță de: granulația materialului abraziv, proprietățile fizico – mecanice atât ale granulelor abrazive cât și ale liantului.

Materialele abrazive pot fi naturale sau artificiale. Materialele abrazive naturale se folosesc în mai mică măsură, deoarece nu se găsesc în stare pură decât în cantități mici. Din categoria materialelor abrazive naturale fac parte: diamantul, corindonul, șmirghelul și cuarțul, iar din cea a materialelor abrazive artificiale fac parte: corindonul sintetic, carbura de siliciu, carbura de bor, nitrura cubică de bor și diamantul sintetic. Materialele abrazive artificiale au o duritate mai ridicată decât a celor ce se găsesc în natură.

Diamantul: este mineral, reprezentând carbon pur și are cea mai mare duritate dintre materialele abrazive, 10 pe scara Mohs, (duritatea pe scara Mohs este prezentată în tabelul 2.5) însă arde la 865°C. Se întâlnește sub formă de cristale mici, fiind deficitar și scump. Deși are o duritate mare, rezistența diamantului este mică. Acesta se utilizează doar în cazul prelucrărilor speciale.

Tabelul 2.5

Duritatea conform scării Mohs	
1	Talc
2	Ghips
3	Calcit
4	Fluorină
5	Apatit
6	Ortoclaz
7	Cuarț
8	Topaz
9	Corindon
10	Diamant

Corindonul natural: având un conținut de până la 95% Al_2O_3 (restul fiind impurități), fiind cel mai dur material abraziv natural după diamant, are tenacitate mare, care-l face să fie unul din cele mai bune materiale abrazive naturale.

Șmirghelul: este un mineral, reprezentând 25...30% Al_2O_3 + Fe_2O_3 + silicați. Are o duritate mai mică, aproximativ 7,5 pe scara Mohs.

Cuarțul: este tot un mineral, format în principal din oxid de siliciu (SiO_2) cristalin, existent în natură în cantități mari.

Corindonul sintetic: numit și electrocorindon, este format din oxid de aluminiu cristalin, obținut în cuptoare electrice cu arc prin topirea bauxitei. În urma acestui proces rezultă o masă dură de corund, sub formă de blocuri, care se sparg și apoi se macină în particule foarte mărunte. Acestea se remarcă prin duritate foarte mare și o tenacitate apreciabilă. Se fabrică două sorturi de electrocorindon, în funcție de conținutul de Al_2O_3 :

- electrocorindon normal (92-95% Al_2O_3) de culoare cărămizie;
- electrocorindon nobil (98-99% Al_2O_3) de culoare alb sau roz, având capacitate de așchiere superioară.

Carbura de siliciu: numită și carborund, se obține prin topirea bioxidului de siliciu. Granulele din carbură de siliciu sunt foarte casante, astfel că în urma spargerii, apar colțuri și muchii foarte ascuțite. Din acest motiv sunt folosite la prelucrarea materialelor fragile, care au rezistență la rupere redusă. Se utilizează două sortimente: carbura de siliciu neagră și carbura de siliciu verde. Carbura de siliciu verde este utilizată la rectificarea aliajelor dure.

Carbura de bor: se obține prin topirea oxidului de bor cu carbon, la temperaturi de 2000...2500°C, rezultând un material abraziv foarte dur. Granulele de carbură de bor sunt ascuțite, au o mare rezistență la uzură și la compresiune, dar sunt foarte fragile.

Nitrura cubică de bor: denumită și simbolizată CBN (abreviere de la Cubic Boron Nitride), este un material sintetic superdur, apropiat ca duritate de duritatea diamantului, având însă o termorezistență mult mai mare (1300°C). CBN se comportă foarte bine la rectificarea oțelurilor tratate termic la duritate ridicată.

Diamantul industrial sintetic: se obține din grafit, în camere speciale, la presiuni de 12600...100000 bar și temperaturi de 1200...2700°C. Se sinterizează în granule cu dimensiuni de 0,2...0,4 mm. Diamantele sintetice au o suprafață mai rugoasă și unghiuri de ascuțire ale muchiilor și vârfulilor mai mici, în comparație cu diamantele naturale. Din acest motiv sunt mai productive în calitate de scule abrazive.

Mărimea caracteristică a materialului abraziv este granulația. Aceasta reprezintă mărimea granulelor trecute prin site succesive, fiind standardizate trei grupe:

- granule, cu dimensiuni între 2500...160 μm;
- pulberi, cu dimensiuni între 160...63 μm;
- micropulberi, cu dimensiuni între 40...3 μm.

Există două modalități de notare a granulației. După prima modalitate, granulația este notată cu numărul care corespunde numărului de găuri (mesh) care revin la 1 inch liniar de sită, pe care este reținută o fracțiune a granulelor cernute, standardizată de ASTM (American Society for Testing and Materials). După a doua modalitate, granulația este simbolizată în funcție de mărimea orificiilor sitei, pe care rămâne granula din fracțiunea principală, standardizat de ISO (International Standard Organization). Exemple de notare a granulației sunt redată în tabelul 2.6.

Tabelul 2.6

Granulația ASTM	Granulația ISO	Dimensiuni limită ale granulelor, în μm
10	2000	2500...2000
12	1600	2000...1600
16	1250	1600...1250
20	1000	1250...1000
24	800	1000...800
36	500	630...500
46	350	500...400
60	250	315...250
80	200	250...200
100	150	200...150
120	120	160...120
150	100	120...100
180	80	100...80
220	60	80...63
240	50	50...40
320	40	40...35
400	35	35...25
500	25	25...15
600	15	15...10
800	10	10...6
1200	6	6...4
1500	3	4...3

Lianții sculelor abrazive au rolul de a menține legate granulele abrazive și, după o anumită uzură să le elibereze, proces numit "autoascuțire". Se utilizează următoarele grupe de lianți:

- anorganici: ceramic, silicios, magnezitic;
- organici: bachelită, vulcanitic;
- metalici.

Liantul ceramic, este cel mai folosit, avantajele acestuia fiind: rezistență mecanică, refractaritate, rezistență la apă, rigiditate și stabilitate chimică.

Liantul magnezitic, are avantajul încălzirii reduse a piesei prelucrate, dar rezistența mecanică este redusă.

Liantul silicios, are la bază silicatul de sodiu, este inferior liantului ceramic ca rezistență și refractaritate.

Liantul bachelitic, este cel mai folosit după liantul ceramic, el conferă o elasticitate mare corpului abraziv, rezistență și încălziri reduse ale pieselor prelucrate.

Liantul vulcanitic, are la bază cauciucul sintetic, principalul dezavantaj fiind termostabilitatea redusă (150...180°C).

Liantul metalic, se realizează din pulberi de bronz sau de fier și se folosește pentru granule de diamant sau nitrură de bor.

Proprietățile fizico-mecanice ale sculelor abrazive sunt:

- **Duritatea**, este una dintre cele mai importante caracteristici ale sculelor abrazive, prin care înțelegem, în principiu, rezistența liantului sculei la desprinderea granulelor de pe suprafața acesteia, sub influența forțelor de așchiere.

Duritatea sculelor abrazive se notează cu litere mari. După gradul de duritate, sculele abrazive se clasifică în următoarele grupe:

- A...D extrem de moi;
- E...G foarte moi;
- H...K moi;
- L...O de duritate mijlocie;
- P...S dure;
- T...W foarte dure;
- X...Z extrem de dure.

- **Structura**, reprezintă raportul cantitativ dintre volumul granulelor abrazive V_g , volumul liantului V_l și volumul porilor V_p .

$$V = V_g + V_l + V_p = 100\% \quad (2.66)$$

unde V este volumul total al sculei abrazive.

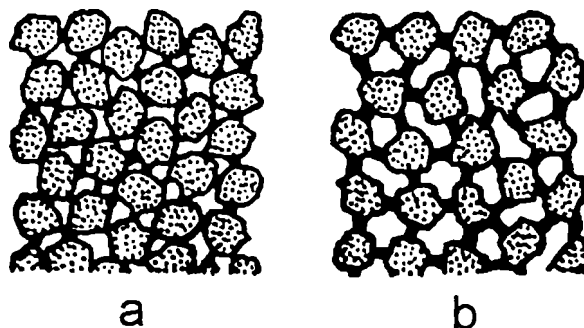


Fig. 2.52 Structura corpurilor abrazive; a-structură densă, b-structură medie

Sunt standardizate 13 clase de structură, simbolizate cu cifre de la 1...12, semnificația lor fiind redată în tabelul 2.7.

Tabel 2.7

Simbol	Structura	Volumul granulelor V_g [%]
0	Densă	62
1		60
2		58
3		56
4		54
5	Medie	52
6		50
7		48
8		46
9	Deschisă	44
10		42
11		40
12		38

În figura 2.52 sunt reprezentate schematic două structuri ale sculei abrazive, respectiv: a-structură densă, b-structură deschisă (poroasă).

Principalele caracteristici ale sculelor abrazive sunt marcate pe una din suprafețele acestora: calitatea granulelor abrazive, granulația, duritatea, structura, calitatea liantului. Se mai marchează dimensiunile caracteristice și viteza periferică maximă admisibilă a discurilor abrazive. Însă marcajul nu cuprinde unele caracteristici importante, care influențează în mare măsură procesul de așchiere și calitatea suprafeței prelucrate, cum sunt: starea și geometria suprafeței de lucru, uniformitatea de dispersie a structurii, înălțimea diferită de dispersie a granulelor, distanța între ele, raza de rotunjire a muchiiilor așchietoare și vârfurile granulelor abrazive

Procesul de așchiere cu scule abrazive se desfășoară în condiții mult diferite față de alte procedee de așchiere, datorită următoarelor particularități:

- viteza de așchiere este deosebit de mare (15...80 m/s);
- așchia are secțiunea redusă;
- muchiile tăietoare au unghiuri de degajare negative și raze de ascuțire foarte mici;
- temperaturi foarte ridicate în zona de așchiere.

Mișcările relative ale sculei abrazive și ale piesei, necesare pentru efectuarea procesului de așchiere cu scule abrazive, sunt prezentate în figura 2.53, a pentru rectificarea cilindrică, respectiv b pentru rectificarea plană.

La o trecere, discul abraziv detașează un strat subțire de material (0,001...0,05 mm), pe care îl transformă în așchii microscopice. Dimensiunile așchiilor și, deci, înălțimea asperităților superficiale, scad pe măsură ce granulația sculei este mai fină. Aceste particularități determină calitatea suprafețelor rectificate ($R_a=0,8...1,6 \mu\text{m}$), precizia ridicată a procesului, precum și posibilitatea prelucrării materialelor foarte dure.

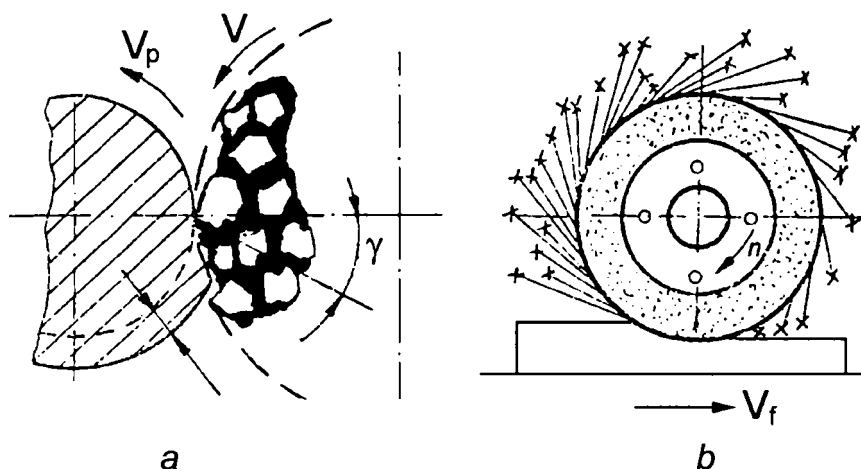


Fig. 2.53 Schema rectificării cilindrice exterioare (a) și a rectificării plane (b).

În procesele de rectificare apar două fenomene specifice: autoascuțirea și îmbâcsirea discului abraziv. Aceste fenomene influențează direct atât productivitatea procesului, cât și indicii de calitate ai suprafețelor prelucrate.

Astfel, solicitarea mecanică și termică a granulelor abrazive provoacă uzarea muchiilor tăietoare și creșterea forței de așchiere corespunzătoare fiecărei granule. La un moment dat, această forță este capabilă să provoace spargerea sau dislocarea granulei uzate, permițând astfel unei granule neuzate să ajungă în contact cu materialul de prelucrat. Acest proces poartă denumirea de autoascuțire. Când intensitatea procesului de autoascuțire este insuficientă, productivitatea procesului scade, iar precizia și calitatea suprafeței se înrăutățesc.

Caracterul adiabatic al procesului de așchiere cu scule abrazive, datorat vitezei mari de așchiere, determină concentrarea puternică în timp și spațiu a energiei și creșterea temperaturii în zona de așchiere la peste 1100°C . Fiind incandescente, așchiile aderă la muchiile ce le-au detașat, astfel că o parte din ele nu sunt desprinse de către forța centrifugă și revin în zona de așchiere unde se aglomerează în spațiul dintre granule, formând pe suprafața activă a discului abraziv o pojghiță metalică, uneori chiar compactă. Discul abraziv se îmbâcsește, se lustruiește, pierzându-și capacitatea de așchiere, iar productivitatea și indicii de calitate se reduc.

Îmbâcsirea discurilor abrazive este cu atât mai intensă cu cât materialul de prelucrat este mai plastic, așchiile sunt mai lungi, frecvența revenirii în zona de așchiere a granulelor are valori mai mari.

Când intensitatea procesului de autoascuțire este insuficientă sau îmbâcsirea devine preponderentă, se impune, periodic, ascuțirea artificială a corpului abraziv, prin îndepărtarea granulelor uzate și a așchiilor care, aderând la acestea le-au anulat capacitatea de așchiere. Ascuțirea este necesară și pentru refacerea, cu precizie, a geometriei corpului abraziv, afectată de uzarea sa în ansamblu.

Zona de așchiere este o sursă termică intensă, ce provoacă apariția în stratul superficial a unui câmp cu gradient termic deosebit de mare. De aceea, la intensificarea procesului de așchiere în vederea obținerii unei productivități cât mai ridicate, solicitarea termo-mecanică a stratului superficial devine limitativă, prin consecințele sale negative: transformări structurale în stratul superficiale (colorația de revenire, figura 2.54 a), și formarea unei plase de microfisuri superficiale (figura 2.54 b). Ameliorarea acestei situații se obține prin utilizarea lichidelor de răcire - ungere. Acestea sunt aduse

în zona de aşchiere sub formă de jet cu debitul de 5...8 l/min pentru fiecare 10 mm din lăţimea discului

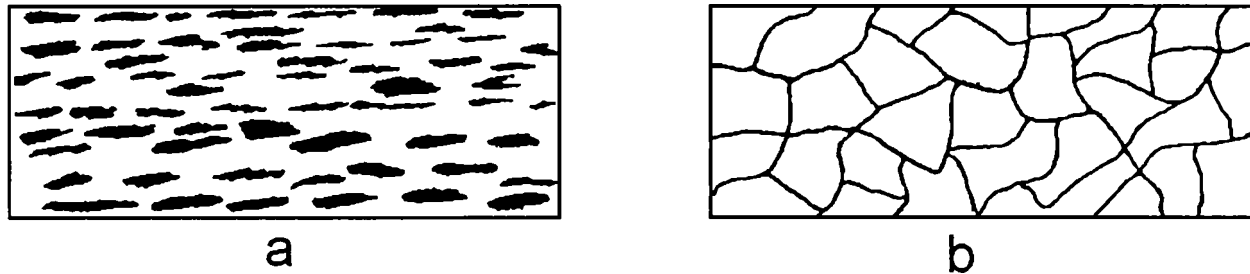


Fig. 2.54 Defecte ale suprafeţelor rectificade.

Aşa cum s-a arătat, periodic discul abraziv trebuie ascuţit artificial. Această operaţie se face prin îndepărtarea unui strat de granule abrazive de pe suprafaţa activă a discului abraziv, astfel că scula recapătă caracteristicile sale iniţiale. Din acest motiv această operaţie este numită ascuţirea corpului abraziv.

Se utilizează două metode de ascuţire a corpului abraziv: prin aşchiere şi prin moletare.

Ascuţirea prin aşchiere se obţine cu ajutorul unor scule, a căror parte activă are la bază diamantul sau carborundul. Sculele de ascuţire cu diamant sunt reprezentate, în special, de creioanele cu diamant, care au rolul unor cuţite pentru strunjire longitudinală, frontală sau profilată a pietrelor abrazive.

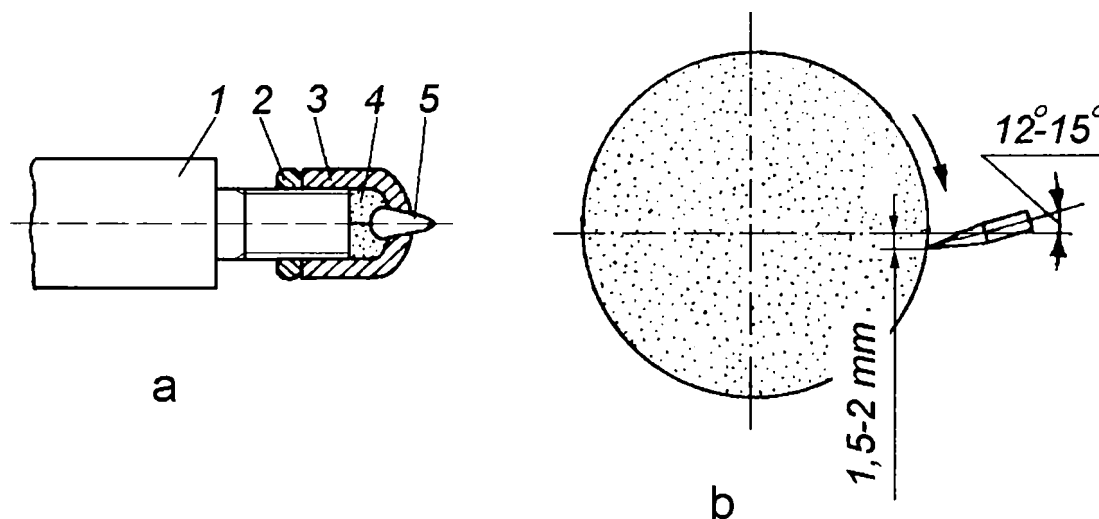


Fig. 2.55 Ascuţirea corpurilor abrazive cu diamant.

Diamantele industriale utilizate au 0,25...2 kt (1kt=0,2g). Modul de fixare al diamantului în corpul creionului este reprezentat în figura 2.55 a. Pe fundul capacului-piuliţă 3 se depune praf sau lipitură de cositor. Prin înşurubare, datorită presiunii hidrostatice create, materialul 4, îmbracă diametrul 5, asigurându-i un locaş elastic şi ferindu-l de concentratoarele de tensiune. Asigurarea se realizează prin înşurubarea contrapiuliţei 2 pe corpul filetat 1. În figura 2.55 b este reprezentat modul de amplasare a creionului cu diamant în raport cu discul abraziv.

Ascuţirea prin moletare, are la bază efectul de spargere şi dislocare a granulelor superficiale ale unui corp abraziv, când pe suprafaţa acestuia este presat un

alt corp dur. Sculele utilizate pentru moletare pot fi: role cilindrice și discuri abrazive dure.

În general discurile abrazive prezintă un dezechilibru, datorat, în special, faptului că greutatea specifică este variabilă în masa corpului abraziv. Alți factori care provoacă dezechilibrul discului abraziv sunt: uzarea neuniformă a discului de rectificat, depunerea neregulată a microașchiilor și a prafului abraziv în porii discului abraziv.

Dezechilibrul discului abraziv determină apariția unei forțe de inerție rotitoare, la acțiunea căreia sistemul tehnologic răspunde printr-o mișcare vibratoare complexă, cu repercusiuni negative atât asupra calității suprafeței și fiabilității sistemului tehnologic, cât și asupra comportării discului abraziv. Se utilizează două metode de echilibrare a corpurilor abrazive: metoda statică și metoda dinamică.

Metoda statică, reprezentată în figura 2.56, dezechilibrului se determină studiind comportarea pe cuțitele paralele de echilibrare 3 a ansamblului disc abraziv-flanșe de prindere 1, fixat pe un dorn de control 2. Lăsat liber, ansamblul ocupă mereu poziția de echilibru stabil, determinându-se astfel poziția dezechilibrului. Prin deplasarea unor contragreutăți în canale prevăzute pe flanșele de prindere, se aduce discul abraziv în echilibru indiferent, deci echilibrat. Metoda prezintă următoarele dezavantaje: consum mare de manoperă, necesitatea repetării frecvente a operației de echilibrare datorită dezechilibrărilor ce apar în timpul procesului de rectificare.

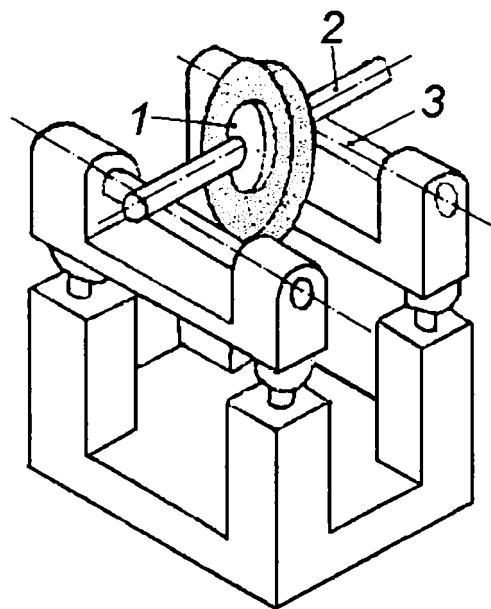


Fig. 2.56 Echilibrarea statică a corpurilor abrazive.

Metoda dinamică presupune rotirea ansamblului de echilibrat și depistarea poziției dezechilibrului prin analiza vibrațiilor provocate de forța centrifugă. Procedeele de aplicare a acestei metode pot fi divizate în două categorii: procedee de echilibrare cu oprirea discului abraziv (în vederea deplasării contragreutăților) și procedee de echilibrare fără oprirea acestuia.

Cel mai cunoscut procedeu de echilibrare a discurilor abrazive cu oprirea discului abraziv este procedeul stroboscopic. Acest procedeu are la bază efectul stroboscopic, prin intermediul căruia se determină poziția unghiulară a dezechilibrului și cu ajutorul acesteia se determină poziția contragreutăților de echilibrare. Refăcând proba, se corectează mărimea acestor contragreutăți până când discul este echilibrat.

Echilibrarea prin variația continuă a amplitudinii este un procedeu ce face parte din a doua categorie. Procedeul are la bază modificarea continuă a mărimi poziției dezechilibrului artificial realizat de contragreutăți, până la anularea dezechilibrului natural. Contragreutățile pot fi deplasate cu mecanisme speciale sau sub acțiunea impacturilor provocate de vibrația sistemului (autoechilibrare).

Una dintre soluțiile constructive utilizate frecvent, ce are la bază procedeul de echilibrare fără oprirea discului abraziv, este prezentat în figura 2.57.

Această soluție utilizează metoda autocentrării supracritice. La această metodă este necesar ca ansamblul de echilibrat, împreună cu contragreutățile de echilibrare, să fie rotite la o turație mult mai mare decât cea critică (de rezonanță). În cursul rotației, contragreutățile sunt eliberate și, sub acțiunea impacturilor primite ca urmare a mișcării vibratorii executate de ansamblul supus echilibrării, acestea se așează astfel încât centrul de greutate al ansamblului să coincidă cu centrul de rotație. Astfel, pe capul arborelui principal 1 este montat discul abraziv 4, direct, fără bucușă intermediară, fiind strâns cu ajutorul flanșei 5. În interiorul acestui arbore se găsesc trei bile 6, imobilizate de plunjerul 2, acționat la rândul său de arcul 3. Dacă turația arborelui principal depășește cu mult turația critică, atunci bilele, eliberate de plunjerul 2, se vor așeza astfel încât ansamblul să se autocentreze.

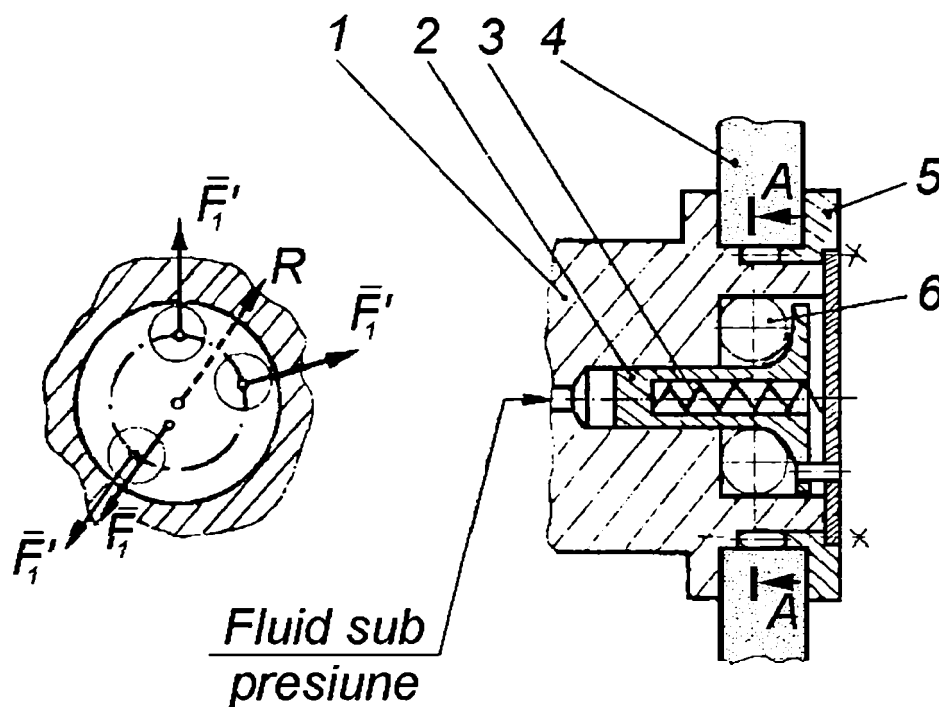


Fig. 2.57 Echilibrarea dinamică a corpurilor abrazive prin variație continuă a amplitudinii.

2.5.2 Rectificarea profilului camei prin copiere după șablon

Rectificarea este un procedeu de prelucrare prin așchiere capabil să îndepărteze adaosul de prelucrare, prevăzut pentru finisare după tratamentul termic final, de pe suprafețe cu o duritate mai mare de 60 HRC, în condițiile asigurării unei rugozități reduse, cu o portanță ridicată. Dacă parametrii tehnologici sunt aleși corespunzător, acest procedeu asigură obținerea unor precizii ridicate și suprafețe fără defecte. Prin optimizarea factorilor care intervin la rectificarea profilului camei, se pot reduce timpi de prelucrare, obținându-se astfel și avantaje economice. Față de rectificarea suprafețelor cilindrice sau a celor plane, rectificarea suprafețelor profilate ale camelor prezintă particularități tehnologice. Acestea se datorează atât formei geometrice deosebite, cât și datorită condițiilor tehnice impuse profilului.

În cadrul procesului tehnologic de prelucrare a profilului camei sunt necesare două operații de rectificare a profilului. O primă operație de rectificare, denumită „rectificare primară a profilului” se execută înainte de operația de tratament termic secundar. Scopul acestei operații este de uniformizare a adaosului de prelucrare. În

urma prelucrărilor primare, profilul camei este generat cu abateri de la profilul teoretic. Dacă operația de tratament termic secundar se execută fără o prelabilă rectificare, există riscul ca, în urma rectificării finale să rezulte un strat superficial durificat cu o grosime neuniformă.

Rectificarea profilului camei, atât la prelucrarea primară, înainte de tratamentul termic secundar, cât și la prelucrarea finală, se poate realiza pe două tipuri de mașini unelte, diferențiate între ele prin purtătorul de informații al sistemului de comandă a mișcării de avans. Din acest punct de vedere se deosebesc:

- mașini de rectificat prin copiere după șablon;
- mașini de rectificat cu comandă numerică.

La primul tip de mașină – unealtă, purtătorul de informație este un șablon, care comandă deplasarea subansamblului mașini ce execută mișcarea de urmărire. La al doilea tip de mașină, purtătorul de informație este o bandă din hârtie perforată.

2.5.2.1 Rectificarea profilului camelor prin copiere cu mișcare de translație

Mașinile de rectificat profilul camelor plane, la care mișcarea de copiere a profilului este de translație, se aseamănă ca și construcție cu o mașina de rectificat cilindric exterior, având în plus un sistem de copiere hidraulic.

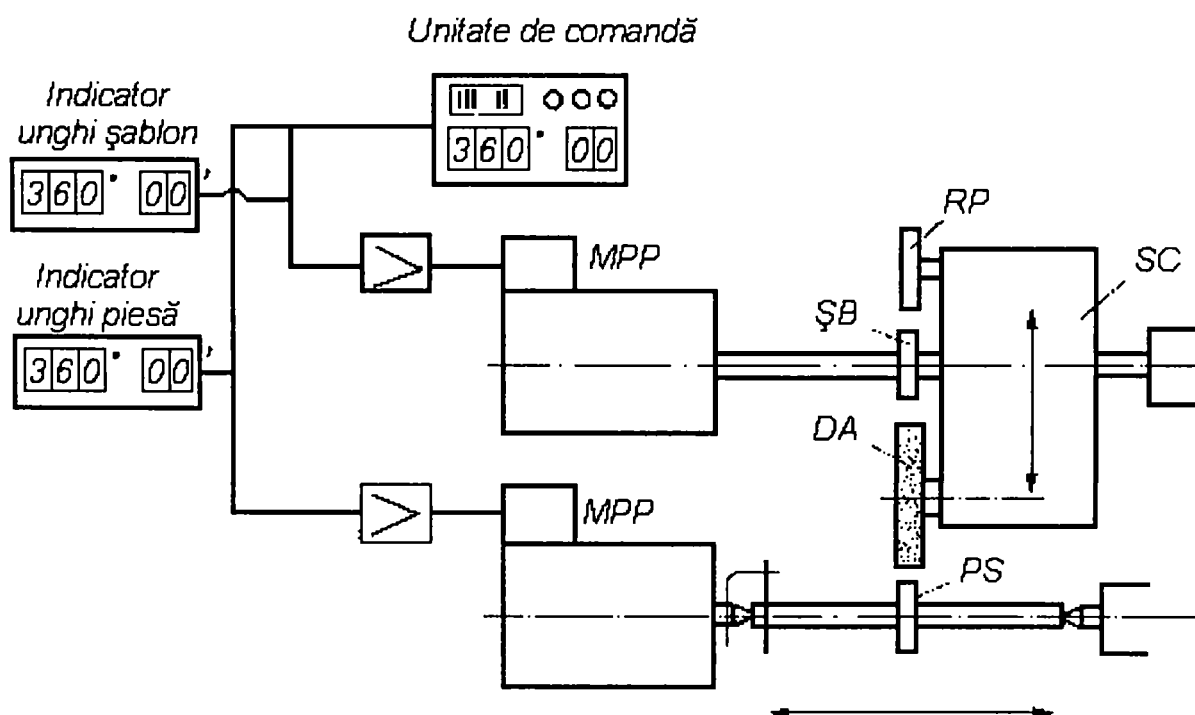


Fig. 2.58 Mașina de rectificat profilul camelor plane cu mișcare de translație

În figura 2.58 este reprezentată schematic mașina de rectificat profilul camelor la care mișcarea de copiere este mișcare de translație. Șablonul ȘB se rotește sincron cu piesa de rectificat PS. Rotirea sincronizată se obține cu ajutorul a două motoare pas cu pas MPP, cu ajutorul cărora se poate realiza și divizare unghiulară. Divizarea unghiulară servește la obținerea decalajului unghiular dintre camele de injecție, admisie și evacuare, în cazul în care arborele rectificat este monobloc. Acesta se obține prin

poziționarea unghiulară corespunzătoare a camei de prelucrat față de șablon. Rola de palpăre RP transmite variațiile de profil ale șablonului, saniei de copiere SC, pe care este amplasat discul abraziv DA.

Șabloanele se obțin prin inversarea procedurii normale de prelucrare, adică, în locul piesei de prelucrat PS, se instalează cama etalon. Cama etalon este piesa ce conține profilul camei de prelucrat. Acesta este executat la scara 1:1, cu o precizie foarte ridicată. De exemplu, în cazul camelor etalon pentru motoarele tip R251, fabricate la UCM Reșița, toleranța razei polare este de $\pm 5 \mu\text{m}$. Pe arborele portșablon se instalează semifabricatul necesar obținerii șablonului, care în prealabil a fost prelucrat până la operația de rectificare a profilului. Prelucrarea prealabilă rectificării, constă în trasarea aproximativă a profilului, debitarea tablei din care se execută șablonul prin tăiere cu flacără sau frezare.

De regulă acest semifabricat este o tablă de $\approx 10 \text{ mm}$ grosime, executat dintr-o calitate de material care prin călire să asigure o rezistență ridicată la uzare, având prelucrate cu precizie suprafețele care urmează a servi la montarea acestuia pe arborele port șabloane a mașinii de rectificat. Suprafața ce urmează a fi rectificată este, în prealabil, tratată aproximativ și frezată. Această frezare se face în scopul reducerii adaosului de prelucrare. În locul rolei RP se instalează un echipament de rectificare, a cărui arbore principal are aceeași axă cu arborele port rolă, iar diametrul discului abraziv instalat în arbore principal al echipamentului de rectificare are diametrul exterior egal cu cel al rolei ce urmează a palpa șablonul. În locul discului abraziv DA, se instalează o rolă de metal cu diametru exterior egal cu diametrul discului abraziv ce se va folosi la rectificarea profilului camei.

Când condițiile precizate mai sus sunt îndeplinite, se poate începe procesul de rectificare a șabloanelor. Deoarece diametrul exterior al discului abraziv descrește în timpul rectificării, datorită uzării la care este supus, este necesară confecționarea mai multor șabloane pentru același profil de camă. Fiecare putând fi folosit pentru diferite intervale de diametre ale discului abraziv. Numărul acestor intervale este determinat de precizia impusă profilului camei și de diferența dintre diametrul discului abraziv nou și cel complet uzat.

Particularitatea prelucrării profilului camei pe astfel de mașini, este dată de faptul că prin mișcarea rectilinie a saniei de copiere, adausul de prelucrare nu este constant pe întregul contur. Astfel, urmărind figura 2.59, se observă că adausul de prelucrare ΔA_C din zona de ridicare sau coborâre a profilului camei, corespunzător aceluiași unghi de rotire $\Delta\varphi$, este mai mare decât adausul de prelucrare ΔA_B din zonele de staționare a tachelului.

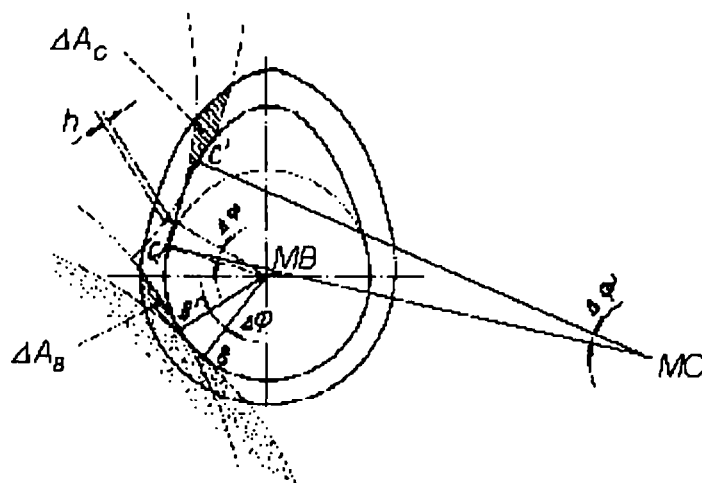


Fig. 2.59 Variația adaosului de prelucrare pe conturul profilului camei.

Această variație a adausului de prelucrare are o influență negativă asupra stabilității procesului de așchiere, ceea ce se reflectă prin variația forțelor de așchiere. Stabilitatea procesului de așchiere este o condiție obligatorie pentru obținerea preciziei și a calității suprafeței prelucrate.

2.5.2.2 Rectificarea profilului camelor prin copiere cu mișcare de oscilație

În vederea uniformizării adaosului de prelucrare pe întregul contur al camei, deci, pentru înlăturarea dezavantajului arătat la mașina de rectificat prezentată anterior, s-a introdus un sistem la care mișcarea de copiere este oscilantă. Mișcarea de oscilație este executată de către masa portpiesă, în timp ce sania portpiatră execută numai avansul de pătrundere.

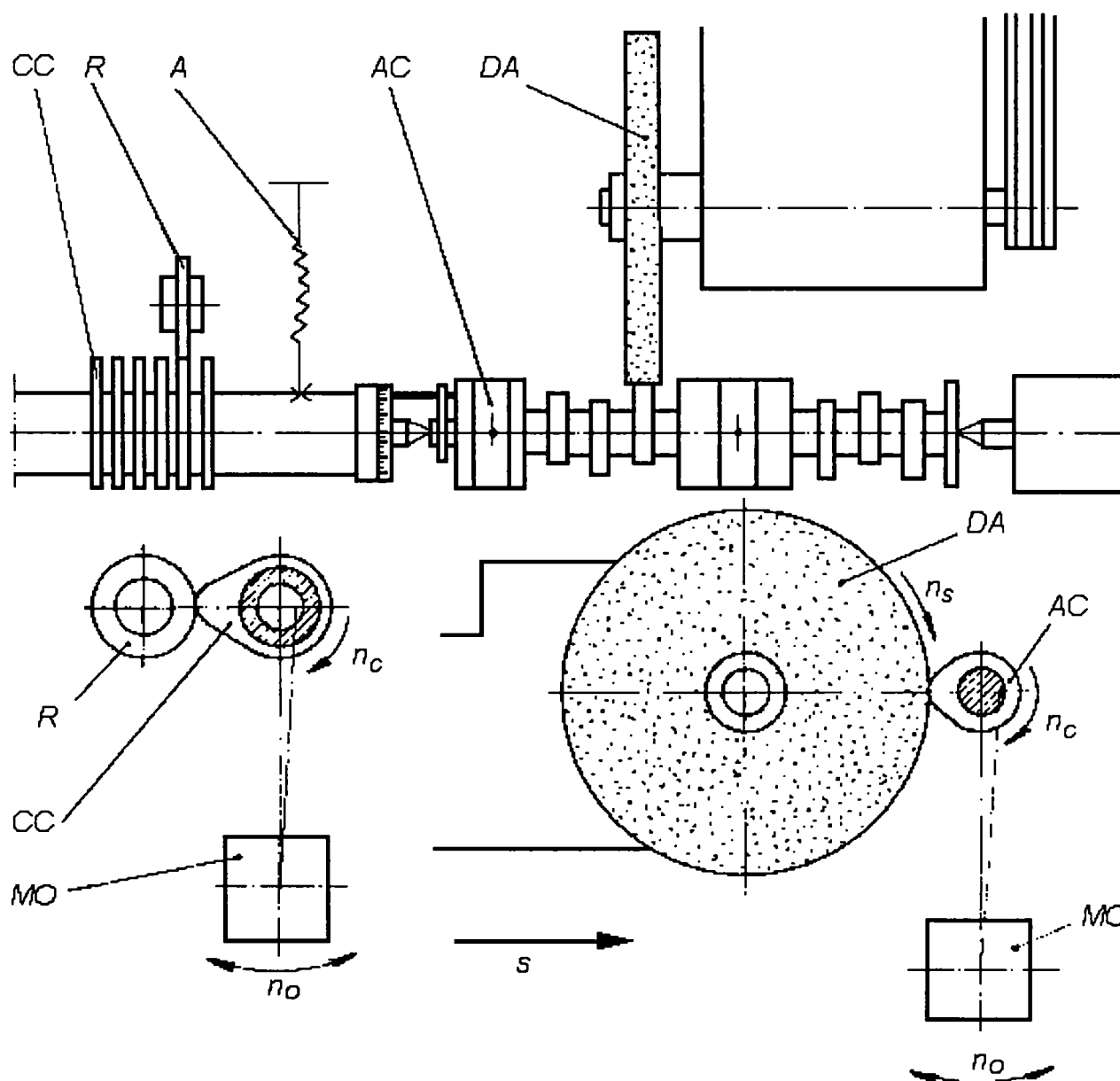


Fig. 2.60 Mașina de rectificat profilul camelor plane cu mișcare de oscilație

În figura 2.60 este prezentată schema unei mașini de rectificat profilul camelor, a cărei mișcare de copiere este mișcarea de oscilație. Camele de comandă CC și arborele de rectificat AC se află pe o axă comună și sunt în contact prin intermediul antrenorului, fără joc sau pericol de torsionare, întregul ansamblu este fixat pe masa oscilantă MO. Masa oscilantă este apăsată printr-un arc A, spre rola de ghidare R, și se sprijină prin intermediul acesteia pe cama de comandă, corespunzătoare camei care se prelucrează în acel moment. Camele de comandă au un profil diferit față de camele etalon, deoarece raza rolei de ghidare este mult mai mică decât raza discului abraziv. Camele de comandă se obțin prin inversarea procesului de copiere normală, așa cum s-a prezentat la mașina de rectificat profilul camelor plane cu mișcarea de copiere rectilinie.

Ca și la mașina de rectificat prin copiere cu mișcare de translație, pentru realizarea aceluiași profil al camei sunt necesare mai multe came de comandă, deoarece discul abraziv este supus fenomenului de uzare în timpul așchierii, iar diametrul său scade. Din acest considerent, se folosesc mai multe came de comandă, pentru diferite intervale de dimensiuni, în care se poate afla momentan raza discului abraziv.

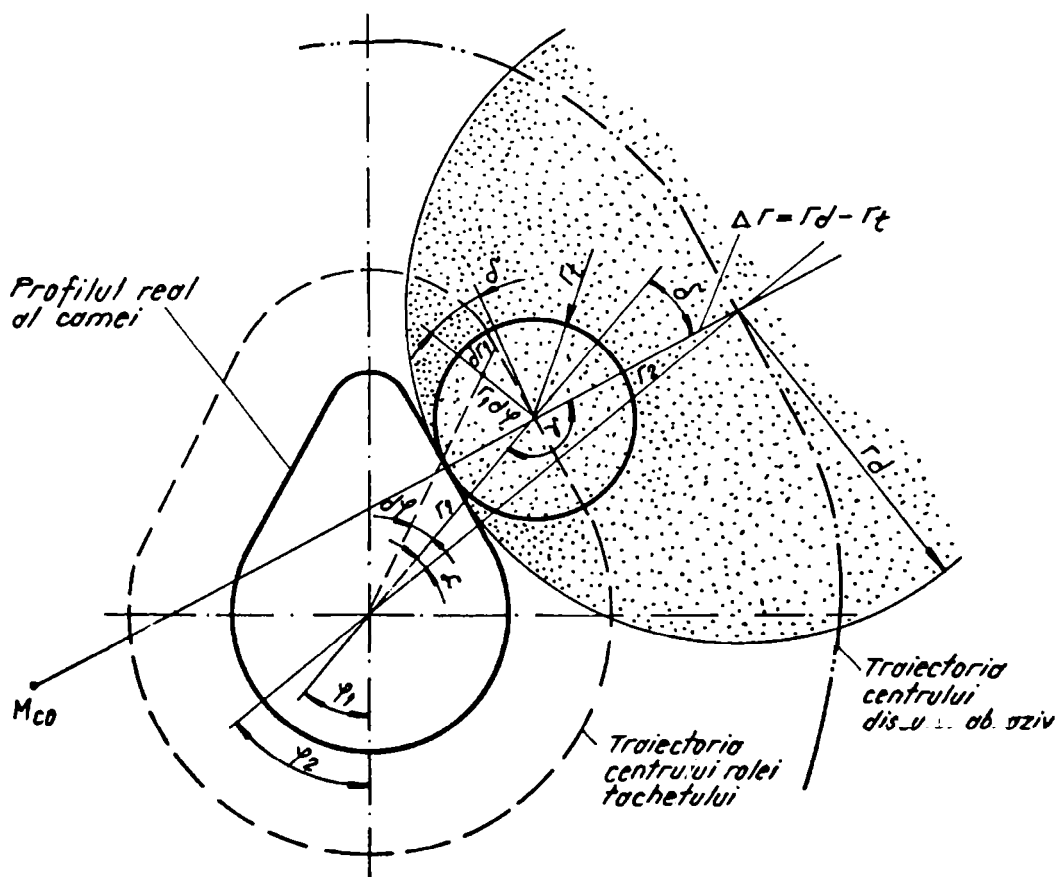


Fig. 2.61 Schemă pentru determinarea legii de mișcare a mesei oscilante

Masa oscilantă a mașinii de rectificat trebuie să respecte o anumită lege de mișcare, pentru a obține profilul impus al camei. Această lege de mișcare este imprimată mesei oscilante prin interacțiunea dintre cama de comandă și rola de ghidare și ea nu este identică cu legea de mișcare a tachetului mecanismului cu came.

Urmărind schema reprezentată în figura 2.61, se poate observa că pentru același punct de contact de pe profilul real al camei, cu tachetul și cu discul abraziv, corespund poziții unghiulare diferite ale tachetului și ale discului abraziv, respectiv φ_1 și φ_2 . Notând

cu r_t raza tachetului și cu r_d raza discului abraziv, urmărind și celelalte elemente geometrice notate în figură și făcând aproximarea arcului de cerc, pe care se deplasează centrul cercului de bază al camei care se rectifică, cu o dreaptă, se poate determina legea de mișcare a mesei oscilante:

$$r_2^2 = r_1^2 + \Delta r^2 - 2r_1\Delta r \cos \gamma \quad (2.67)$$

$$\gamma = \pi - \delta \quad (2.68)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{dr_1}{r_1 d\varphi_1} \quad (2.69)$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \alpha \quad (2.70)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta r \sin \gamma}{r_1 - \Delta r \cos \gamma} \quad (2.71)$$

Utilizând relațiile de mai sus se poate determina legea de mișcare a mesei oscilante, astfel:

$$\begin{cases} r_2 = \sqrt{r_1^2 + \Delta r^2 + 2r_1\Delta r \cos\left(\operatorname{arctg} \frac{dr_1}{r_1 d\varphi}\right)} \\ \varphi_2 = \varphi_1 + \operatorname{arctg} \frac{\Delta r \sin \gamma}{r_1 - \Delta r \cos \gamma} \end{cases} \quad (2.72)$$

O altă particularitate este întâlnită la rectificarea camelor care prezintă pe profil porțiuni concave. În acest caz, este nevoie să se calculeze raza de curbură minimă a profilului, în funcție de care se stabilește diametrul discului abraziv. De asemenea este necesar să se analizeze accelerația mesei oscilante. Aceasta se poate determina pornind de la schema din figura 2.62.

$$\Psi \approx \frac{l}{\Delta r} \cdot \varphi \quad (2.73)$$

$$h_1 = 2 \cdot l \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2} \quad (2.74)$$

$$h_2 = 2 \cdot \Delta r \cdot \sin^2 \frac{\Psi}{2} \quad (2.75)$$

$$s \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha = h_2 - h_1 \quad (2.76)$$

$$\varepsilon = \frac{l^2 - l\Delta r}{2s\Delta r \cos \alpha} \omega^2 t^2 \quad (2.77)$$

Derivând relația (2.77) de două ori în raport cu timpul, se obține accelerația mesei oscilante:

$$\ddot{\varepsilon} = \frac{l^2 - l\Delta r}{s\Delta r \cos \alpha} \omega^2 \quad (2.78)$$

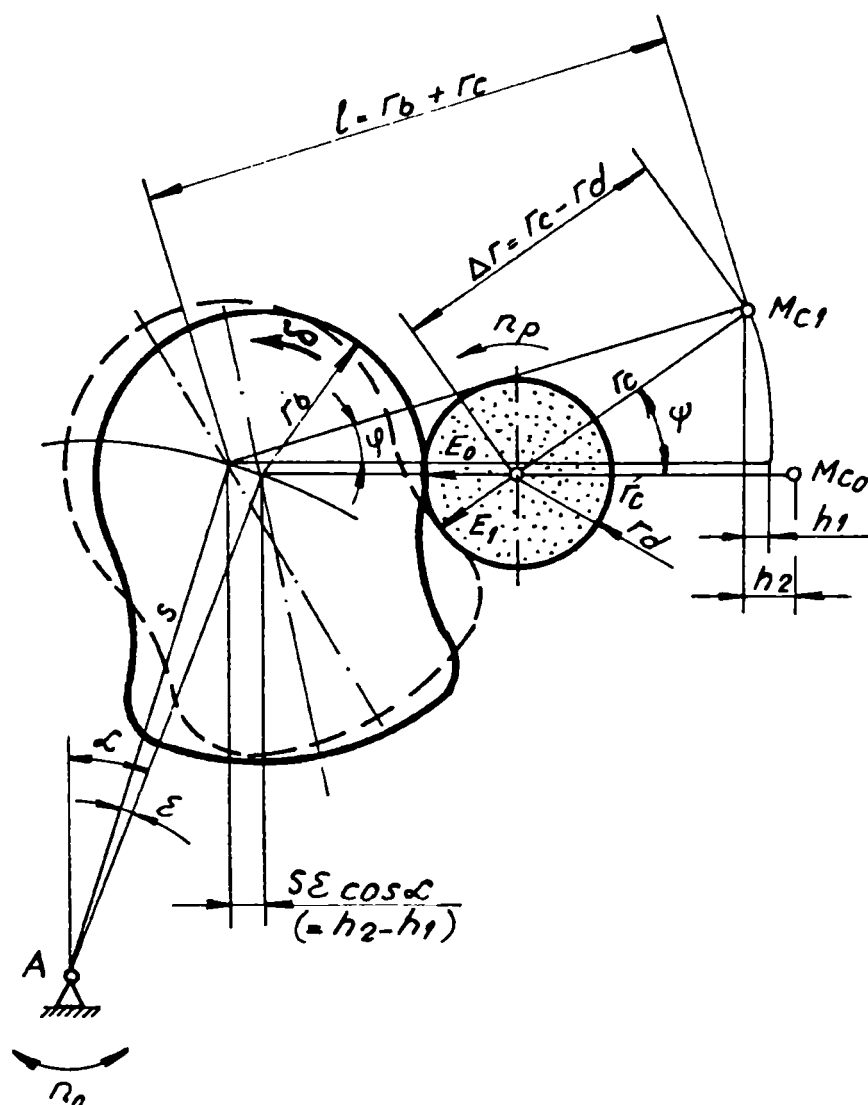


Fig. 2.62 Schemă pentru determinarea accelerației mesei oscilante în cazul rectificării camelor cu porțiuni de profil concav

Cu relația (2.78) se poate stabili dependența accelerației mesei oscilante de raza discului abraziv r_d . Se observă că accelerația mesei oscilante crește progresiv cu creșterea razei discului abraziv, iar în cazul în care raza discului abraziv este egală cu raza de curbură (r_c) minimă, atunci accelerația mesei oscilante tinde către infinit ceea ce va duce la apariția unui șoc dur în funcționarea mecanismului de copiere al mașini.

2.5.3 Rectificarea profilului camei pe mașini de rectificat cu comandă numerică

Așa cum s-a arătat, la rectificarea profilului camelor plane prin copiere după șablon, este necesar un set de came de comandă pentru realizarea unui singur profil. Camele de comandă se obțin prin copiere după un etalon. Etalonul fiind foarte exact prelucrat, este o piesă cu preț ridicat, fiind și unicat. Procesul de prelucrare a camelor de comanda este un proces care înglobează multă manoperă și personal calificat. Ținând cont de faptul că materialul din care se confecționează camele de comandă trebuie să aibă proprietăți deosebite, iar cu cât precizia profilului ce trebuie rectificat

este mai mare cu atât numărul camelor de comandă este mai mare, aceasta face ca execuția camelor de comandă să aibă costuri ridicate.

Acestea se justifică numai în cazul producției de serie. În cazul unor modificări ale profilului camei trebuie confecționate noi came de comandă.

Mașinile de rectificat profile nerotunde, cu comandă numerică, înlătură dezavantajele menționate mai sus. Acestea sunt automate de prelucrare liber programabile, având avantajul posibilității de trecere rapidă la un alt program de fabricație, fără intervenție manuală sau modificări ale mașinii. Această flexibilitate a mașinilor de rectificat profilul camelor cu comandă numerică se obține prin:

- introducerea directă a profilului camei prin intermediul programului de prelucrare, respectiv a deplasării sculei corelat cu rotirea arborelui principal;
- posibilitatea introducerii informațiilor tehnologice cum sunt: viteza de avans, turația arborelui principal, etc.;
- utilizarea repetată a programelor verificate în prealabil și memorate;
- apelarea programată a valorilor de corecție memorate, pentru diametrul discului abraziv.

Precizia mașinilor de rectificat cu comandă numerică, a ajuns la precizii de măsurare a deplasărilor de $0,1 \mu\text{m}$ și chiar mai mici, precizie realizată la viteze de deplasare a săniilor cuprinse între $0,02 \text{ mm/min}$ și 60 m/min . Redresarea discului abraziv se efectuează la perioade de timp care nu sunt fix programate, ci sunt dependente de uzarea discului abraziv sau de puterea de rectificare măsurată. Pentru aceasta, un diamant trece odată sau de mai multe ori pe suprafața activă a discului abraziv. Sistemul CNC trebuie să corecteze poziționarea cu valoarea redresării, iar turația discului abraziv să fie mărită corespunzător micșorării diametrului, pentru menținerea vitezei periferice la valoarea inițială.

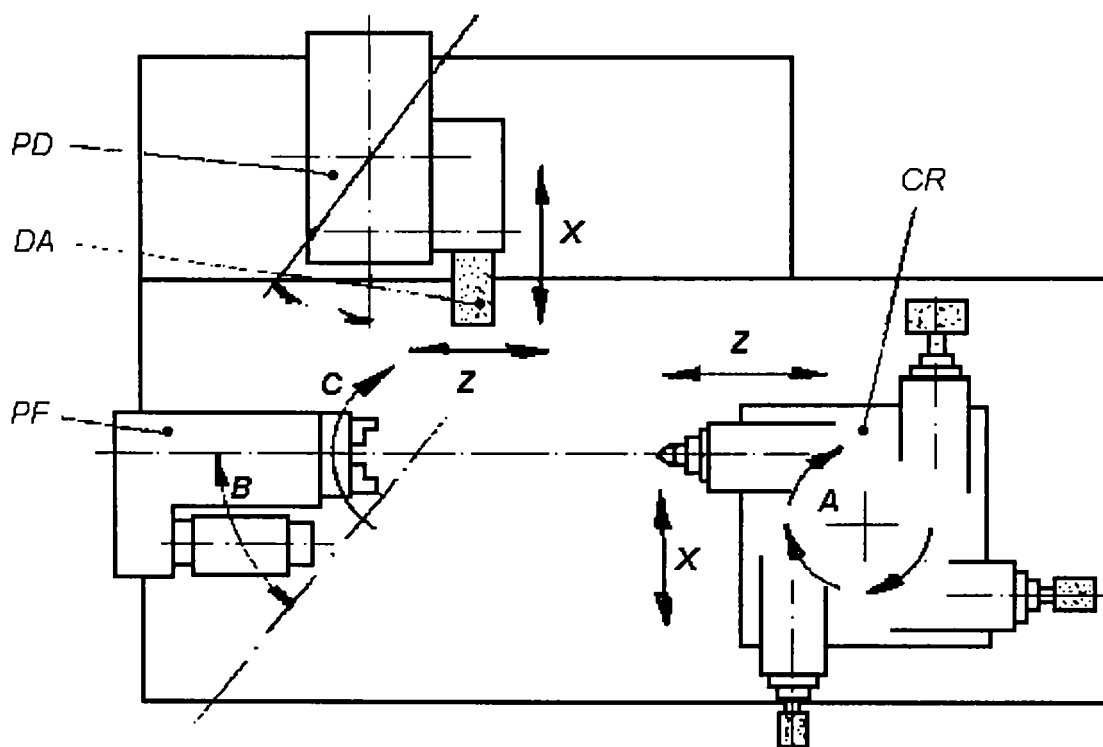


Fig 2.63 Mașina de rectificat universală cu comandă numerică tip S45-6 CNC, produsă de firma elvețiană F. STUDER

Programul constă dintr-o succesiune de instrucțiuni care determină un proces de prelucrare a profilului camei, prin deplasarea relativă dintre sculă și cama de prelucrat.

Pentru a întocmi programul necesar comandării mașinii de rectificat cu comandă numerică este nevoie de recalcularea coordonatelor profilului teoretic al camei. Acest lucru este necesar deoarece diametrul discului abraziv nu este egal cu cel al rolei tachetului, iar traiectoria programată trebuie calculată, cu formulele prezentate la subcapitolul 2.3.2.2, ținând cont de raza discului abraziv.

În figura 2.63 este reprezentată schema structurală a unei mașini de rectificat cu comandă numerică, destinația acesteia fiind ca mașină de rectificat universală, însă datorită posibilităților pe care i le conferă comanda numerică poate fi folosită și la rectificarea camelor.

Profilul camei este obținut prin compunerea mișcării de rotație a camei, axa C a mașinii pe care se programează unghiul de rotire al camei, și mișcarea de translație a păpușii port-disc PD pe care se programează raza polară a profilului teoretic calculat, axa X_2 . În cazul rectificării profilelor camelor individuale, cu proțiuni de profil concave,, cu rază mică de curbură, trebuie utilizate pietre de rectificat cu diametrul mic. Acestea vor fi fixate în capul revolver CR, iar profilul camei este obținut prin compunerea mișcărilor pe axele C și X_1 .

Gradul de flexibilitate al acestor mașini este ridicat, modificarea profilului camei se poate face simplu prin modificarea programului. De asemenea, aceste mașini pot funcționa înseriate cu o mașina de măsurat, erorile de prelucrare depistate de mașina de măsurat pot fi corectate la piesele prelucrate ulterior, prin modificarea automată a programului mașinii.



Fig. 2.64 Mașină de rectificat cu comandă numerică a profilului camelor la arborii monobloc, produsă de SCHIESS KOPP

Multe din firmele constructoare de mașini - unelte execută la comandă mașini speciale pentru prelucrarea camelor individuale sau arbori cu came monobloc. O astfel de mașină de rectificat profilul camelor, la arborii monobloc, cu comandă numerică, produsă de firma Schiess Kopp este prezentată în figura 2.64 iar, în figura 2.65 pentru came individuale.



Fig. 2.65 Mașină de rectificat cu comandă numerică profilul camelor individuale, produsă de SCHIESS KOPP

2.6 Controlul profilului camelor

În condițiile actuale ale dezvoltării economico-sociale oferta depășește de mai multe ori cererea. Ca urmare, există între producători o competiție deosebit de intensă pentru câștigarea pieții. În aceste condiții unul dintre argumentele esențiale, pe baza căruia se departajează produsele în opțiunile cumpărătorilor, este calitatea acestora.

Definiția, prea simplă poate, dată de J. M. Juran „Calitate = aptitudine de folosire” a stat totuși la baza definiției stabilite prin standardul ISO 8402 „Calitate. Terminologie.” publicat în 1986. Conform acestuia: „Calitatea este totalitatea proprietăților și caracteristicilor unui produs sau serviciu, care îi conferă acestuia aptitudinea de a satisface anumite cerințe exprimate și implicite”[58].

Cerințele impuse camelor individuale sau arborilor cu came se găsesc în documentația de execuție, respectiv desene de execuție și specificații tehnice, emise de proiectant. Acestea se referă, în general, la următoarele aspecte:

- dimensiuni;
- poziția relativă a suprafețelor;
- defecte de material;
- rugozitate;
- duritate;
- adâncime a stratului durificat.

Constatarea și atestarea calității se face prin procese de control al calității, în urma cărora parametrii impuși de proiectant sunt înscrși în protocoale de măsurători sau inspecție. Dacă parametrii determinați în urma procesului de control se încadrează în limitele impuse de proiectant, cama sau arborele cu came este declarat ca fiind în conformitate cu cerințele specificate. În caz contrar produsul este declarat ca fiind neconform. Neconformitățile sunt analizate de proiectant, acesta luând decizia de utilizare ca atare, remaniere sau rebutare.

Pentru aspectele legate de rugozitate, duritate și adâncimea stratului durificat, procesele de control au fost tratate în capitolele anterioare. Procesele de control privind aspectul dimensional și cel defectoscopic, specific camelor, vor fi tratate în cele ce urmează.

2.6.1 Controlul dimensional

Procesul de control dimensional specific camelor se referă la determinarea abaterii de la forma dată a profilului, acest lucru fiind posibil de realizat prin măsurarea cursei tachetului, corespunzătoare unghiului de rotire. Pentru efectuarea acestor măsurări sunt necesare mijloace adecvate.

Mijloacele de măsurare trebuie să fie caracterizate de o precizie ridicată. Eroarea de măsurare se limitează la valori cuprinse între 10-20 % din toleranța parametrului măsurat, înscrisă pe desenul de execuție. Mărirea excesivă a preciziei de măsurare conduce la complicarea și scumpirea operației de control dimensional și implică la micșorarea productivității.

O altă cerință impusă unui mijloc de măsurare este cea legată de asigurarea productivității. Productivitatea măsurării trebuie să fie corelată cu ritmul producției, astfel încât operația de control să nu devină un punct de ștrangulare a fluxului de fabricație. Productivitatea în domeniul controlului se asigură prin alegerea corespunzătoare a metodei de control, a mijlocului de măsurare, realizarea unor dispozitive pentru orientarea rapidă și precisă a piesei față de instrumentul de măsurare, introducerea metodelor de mecanizare și automatizare în domeniul controlului, lărgirea sferei de aplicare a controlului activ.

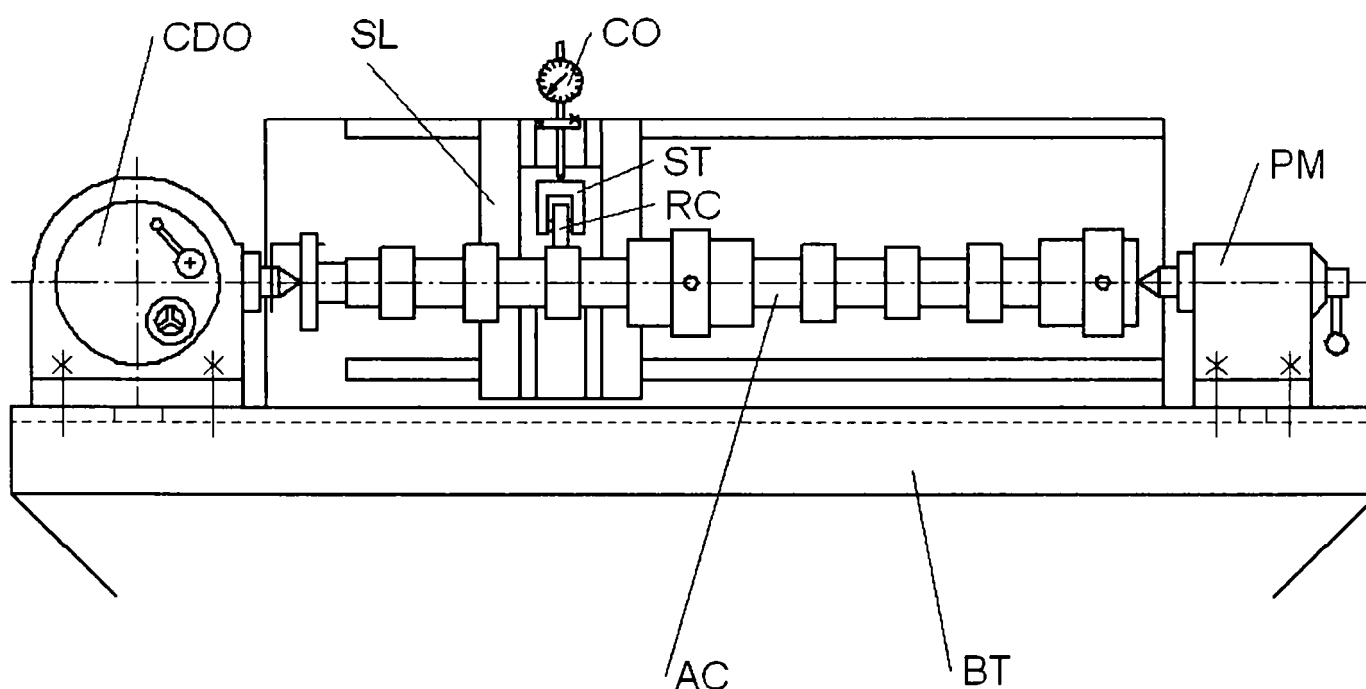


Fig. 2.66 Verificator al profilului camelor de la arborii cu came monobloc fabricați în producția de serie mică

În cazul arborilor cu came monobloc fabricați în serie mică, așa cum este și cazul arborilor cu came de la motoarele tip R251, se poate utiliza un verificator ca și cel prezentat în figura 2.66. Acesta are la bază un cap divizor optic CDO, amplasat pe un batiu BT. Arborele cu came AC este fixat între vârfurile conice ale capului divizor și

păpușii mobile PM. Vârful conic al capului divizor este prevăzut cu un antrenor al cărui rol este de-a antrena, fără joc, arborele cu came în mișcare de rotație, realizând astfel divizarea unghiulară, necesară contolului profilului camei. Antrenarea în mișcare de rotație a arborelui cu came se face prin intermediul alezajului pentru știft, practicat în flanșa de cuplare. Batiul are două suprafețe perpendiculare, ambele prevăzute cu ghidaje. Pe una dintre suprafețe sunt amplasate capul divizor și păpușa mobilă, care poate culisa pe ghidaje, astfel încât să asigure fixarea între vârfuri a arborilor cu came monobloc de lungimi diferite. Pe ghidajele celeilalte suprafețe poate culisa sania longitudinală SL. Pe ghidajele saniei longitudinale se poate deplasa sania transversală ST, aceasta fiind prevăzută cu o rolă RC, care se află în contact cu cama de verificat. Diametrul rolei este egal cu diametrul rolei tachetului. Valorile citite la ceasul comparator cu cadran CO, al cărui palpator este în contact cu sania transversală, reprezintă cursa reală a tachetului, corespunzătoare unui anumit unghi de rotație al camei.

Pe lângă cursa reală a tachetului se pot determina și valorile bățăilor radiale ale fuselor lagărelor, precum și ale cercului de bază și de vârf al camelor.

De regulă, la asimilarea unui nou tip de profil, sunt necesare determinări ale curselor tachetului corespunzătoare mai multor puncte de pe profilul camei. Cel mai utilizat increment unghiular este de 1° și mai rar $0,5^\circ$. Pentru controlul profilului camei în fabricația de serie, este suficient să fie măsurate cursele tachetului corespunzătoare câtorva puncte (3...5) de pe fiecare porțiune a profilului, de ridicare respectiv de coborâre a tachetului. Cu aceste valori determinate se poate decide dacă profilul camei corespunde sau nu cerințelor impuse prin documentația de execuție.

Firme specializate în fabricarea instrumentelor de măsură, cum sunt: Andrews Products Inc., Taylor Hobson, SIEMENS Energy&Automation sau HOMMEL produc la comandă verificatoare pentru arbori cu came monobloc. Un astfel de verificator produs de firma Andrews Products Inc. este prezentat în figura 2.67

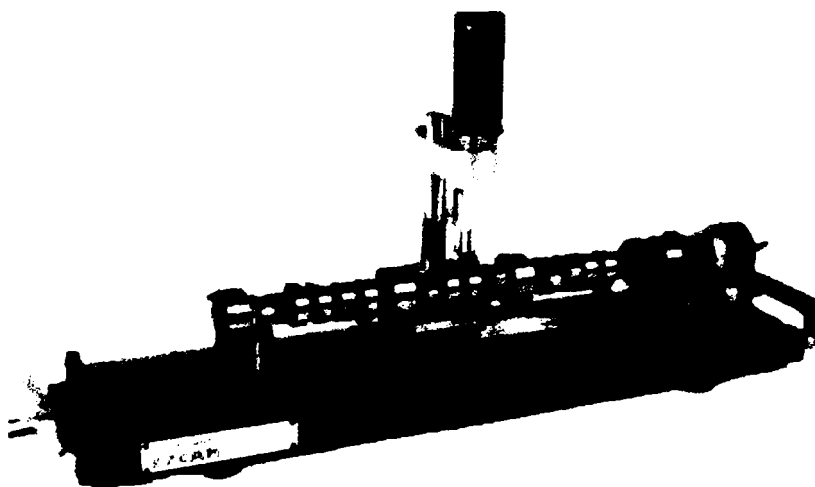


Fig. 2.67 Verificator al profilului camelor de la arborii cu came monobloc produs de firma Andrews Products Inc.

La acest verificator, valorile cursei tachetului corespunzătoare unghiurilor programate de rotire a camei, prin intermediul unui sistem de achiziții date, sunt memorate și prelucrate de către un calculator. Protocolul de control conține informații despre abaterile dimensionale ale cursei tachetului. Pe lângă acestea, se pot obține informații și despre abaterile de la parametrii cinematici, cum sunt: viteza, accelerația și supraaccelerația. Fereastra calculatorului, în care apare un astfel de protocol de control, este prezentată în figura 2.68.

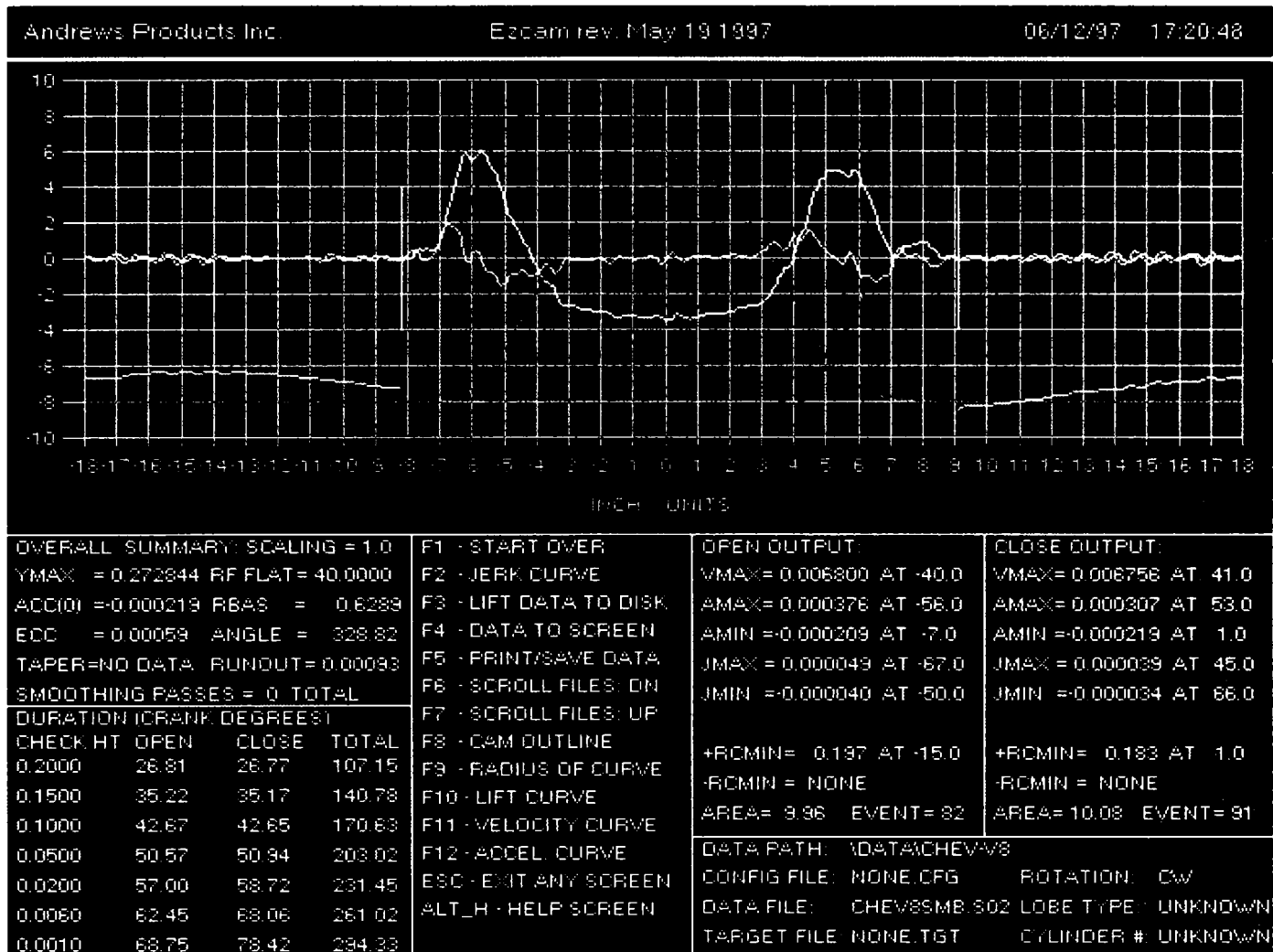


Fig. 2.68 Protocol de control profil camă

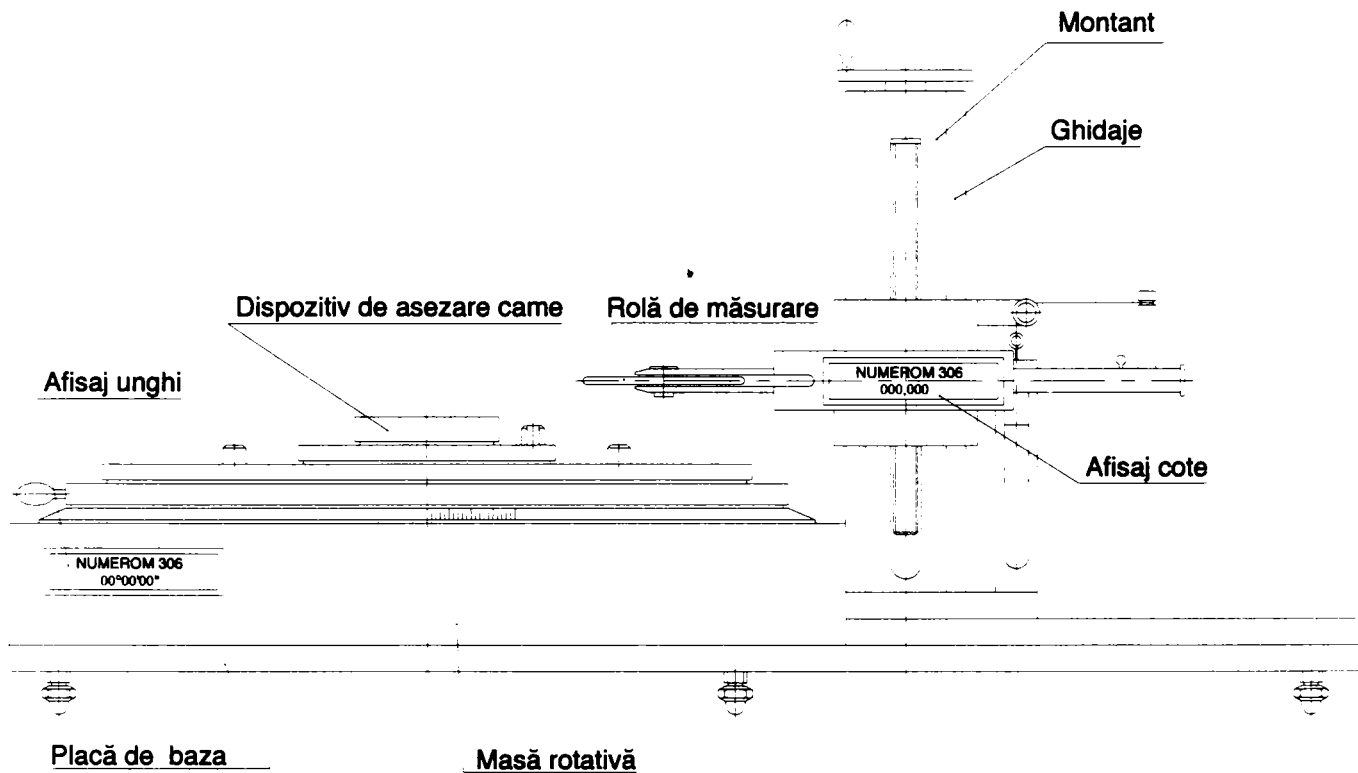


Fig. 2.69 Verificator pentru profilul camelor individuale

În figura 2.69 este reprezentat un verificator pentru profilul camelor individuale de dimensiuni mari. Pe placa de bază sunt amplasate masa rotativă și montantul, iar pe masa rotativă este montat dispozitivul de așezare a camei. Acest dispozitiv este prevăzut cu un cep de centrare, cu ajutorul căruia cama este așezată cu alezajul central în axa mesei rotative. Pentru orientarea camei se folosește un știft care formează împreună cu alezajul din axa camei, un ajustaj alunecător. Masa rotativă este înzestrată cu un traductor rotativ, ce permite afișarea unghiului de rotire a camei. Pe ghidajele montantului culisează sania, pe care este amplasat suportul rolei de măsurare. Rola are diametrul egal cu diametrul rolei tachetului. Direcția de translație a rolei trece prin axa mesei rotative. Suportul rolei de măsurare este înzestrat cu traductor pentru deplasare liniară, cu afișaj, la care se poate citi cursa tachetului, aferentă unghiului de rotire.

Pentru camele care intră în componența mecanismului de distribuție al motoarelor cu ardere internă, se apreciază din punct de vedere dinamic ca fiind corespunzătoare, precizia profilului care asigură abateri mai mici de 5% ale accelerației maxime reale, față de cea proiectată.

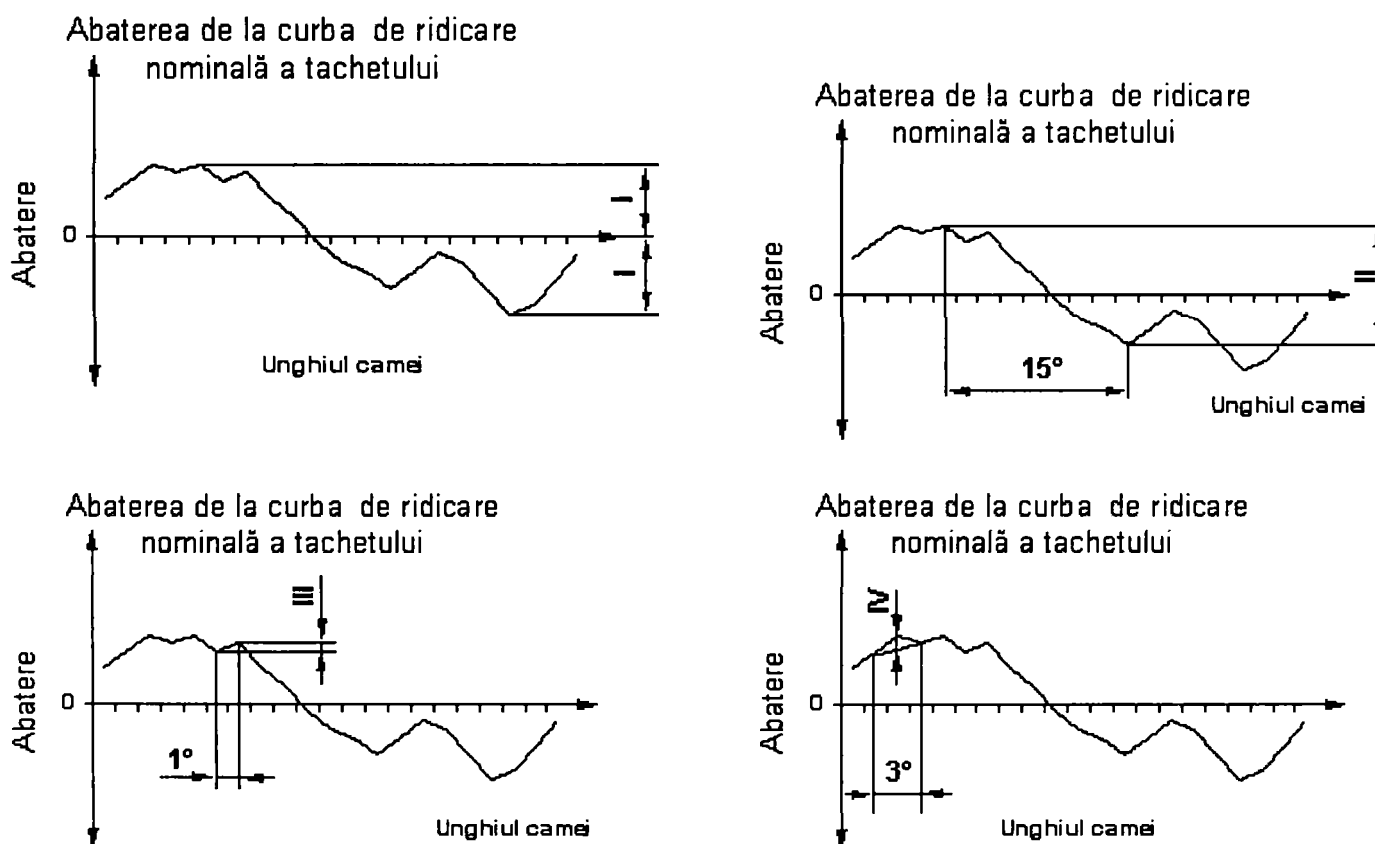


Fig 2.70 Cerințe privind abaterile profilului real al camelor față de profilul teoretic

Interpretarea valorilor determinate pentru cursele tachetului se fac în funcție de cerințele impuse profilului camei. Cele mai restrictive cerințe privind abaterea profilului real al camei față de profilul teoretic sunt reprezentate în figura 2.70. Astfel:

- prin abaterea tip I, se limitează eroarea maximă a profilului real al camei față de cel teoretic, de-a lungul întregului contur al camei, respectiv 360° ;
- prin abaterea tip II, pe orice interval de 15° consecutive, este limitată eroarea maximă a profilului real al camei față de profilul real;
- abaterea de tip III, limitează abaterea maximă a profilului real, între oricare două puncte de măsurare consecutive;

- abaterea de tip IV, pe orice interval de 3° consecutive de-a lungul profilului este limitată eroarea maximă a profilului real al camei.

Pentru exemplificare, în tabelul 2.8, sunt prezentate cerințele privind abaterile maxime pentru camele motorului L 42 MC tip MAN Burmeister&Wein.

Tabelul 2.8

Erori permise ale profilului camei motoarelor navale de tip: L 42 MC				
Tipul erorii	I	II	III	IV
Valoarea maximă	0,25	0,2	0,05	0,03
Unitate de măsură	mm			

Ținând cont de dimensiunile camelor, se poate face precizarea că, aceste erori de prelucrare se încadrează în limitele clasei de precizie a șaptea.

2.6.2 Controlul defectoscopic nedistructiv

Defectoscopia reprezintă un ansamblu de procedee pentru examinarea materialelor, pieselor și îmbinărilor, în scopul punerii în evidență a defectelor acestora (fisuri, incluziuni, goluri) prin metode nedistructive.

Scopul defectoscopiei nedistructive este de a detecta cu operativitate defectele, natura și parametrii acestora: poziția, orientarea și mărimea și de a emite decizii de acceptare, remediere sau refuz, în concordanță cu criteriile de admisibilitate sau limitele de admisibilitate prescrise în documentații de execuție, norme și standarde. Stabilirea naturii defectului este deosebit de utilă în identificarea cauzelor și fixarea măsurilor de corectare a execuției sau a tehnologiei. Aflarea celorlalți parametri ai defectului se impune în vederea indicării cu exactitate a locului și extinderii remedierii.

Dezvoltarea impetuoasă a defectoscopiei nedistructive pe terenul tot mai extins al pretențiilor pentru calitate și rentabilitate, are ca principal argument eficiența economică. Ea rezultă, în primul rând, prin preîntâmpinarea pierderilor în producție și în exploatare, prin eliminarea în faze timpurii de execuție a semifabricatelor și pieselor necorespunzătoare și micșorarea rebuturilor.

Mărirea nejustificată a volumului controlului, aplicarea unor metode ultrasensibile necorelate cu nivelul de execuție și cu posibilitățile mijloacelor mai simple și mai puțin costisitoare, conduce la mărirea prețului de cost și prin aceasta la discreditarea controlului. În același sens, acționează și reducerea nejustificată a limitelor de admisibilitate a defectelor. De aceea, volumul de control și prevederile normelor de control trebuie să fie astfel stabilite, încât cheltuielile totale pentru acoperirea controlului și prevenirea pierderilor în procesul de fabricație pe de o parte, și pentru lichidarea consecințelor unei eventuale avarii, pe de altă parte, să fie minime. Această condiție se exprimă prin relația pierderilor:

$$C_t = C_n P_n + C_r P_r (1 - g_d) + C_{cnd} \quad (2.79)$$

În care:

- C_t – costul total;
- C_n – costul nedectării;
- C_r – costul rebutării;

- C_{cnd} – costul controlului nedistructiv;
- P_n – probabilitatea nedectării;
- P_r – probabilitatea rebutării;
- g_d – gradul de detectare.

Capabilitatea metodelor defectoscopiei nedistructive este definită pe baza următoarelor criterii:

- rata de identificare și de localizare a discontinuităților;
- precizia de determinare a dimensiunilor discontinuității în lungime și în lățime (adâncime);
- mărimea (dimensiunea) minim detectabilă sau sensibilitatea metodei;
- capacitatea de rezoluție sau de relevare a două discontinuități apropiate sau suprapuse;
- recunoașterea naturii discontinuității volumice, plane, variații de structură și/sau de formă;
- productivitatea detectării.

O privire de ansamblu asupra capabilității principalelor metode de control nedistructiv industrial este expusă în tabelul 2.9

Tabelul 2.9

Nr crt	Metode	Identificare discontinuitate		Evaluare		
		Superficială	Subsuperficială	Natură	Lungime	Adâncime
1	Lichide penetrante	FB	X	B	FB	X
2	Pulberi magnetice	FB ¹⁾	S	B	FB	X
3	Curenți turbionari	FB	B	S	FB	B
4	Sonde de potențial	FB	X	S	FB	B
5	Radiografice	FB ²⁾	FB ²⁾	FB	FB	X
6	Ultrasonice	B	FB	S	FB	FB

Aprecieri: FB – foarte bine; B – bine; S – suficient; X – neadecvat.

1) în exclusivitate la materiale feromagnetice

2) dependență accentuată de aliniere în raport cu axa fascicolului de radiații

Alegerea metodei de control se face luând în primul rând în considerație capabilitatea determinată de limitele de sensibilitate. O serie de alți factori exercită însă o influență directă sau indirectă asupra rezultatului controlului. Acești factori pot fi grupați în următoarele categorii:

- factori de material;
- factori de formă și dimensiune;
- factori ce țin de felul discontinuității.

În conformitate cu cele prezentate anterior în procesul de fabricare al camelor individuale și al arborilor cu came monobloc sunt necesare următoarele tipuri de control nedistructiv:

- control ultrasonic și magnetic – necesar după faza de eboșare a semifabricatelor, efectuat cu scopul determinării defectelor subsuperficiale;
- control cu particule magnetice – necesar în faza finală, efectuat cu scopul de-a pune în evidență eventualele defecte din stratul superficial.

Defectoscopia cu ultrasunete este concepută pe baza legilor de propagare a reflexiei și refracție în discontinuități (defecte) a ultrasunetelor. Ultrasunetele sunt generate, emise și recepționate cu ajutorul unor traductoare piezoelectrice, semnalele din defecte fiind redată printr-un sistem de reprezentare de tipul amplitudine-distanță (timp). În figura 2.71 sunt prezentate indicațiile ce rezultă în urma depistării unor defecte în material.

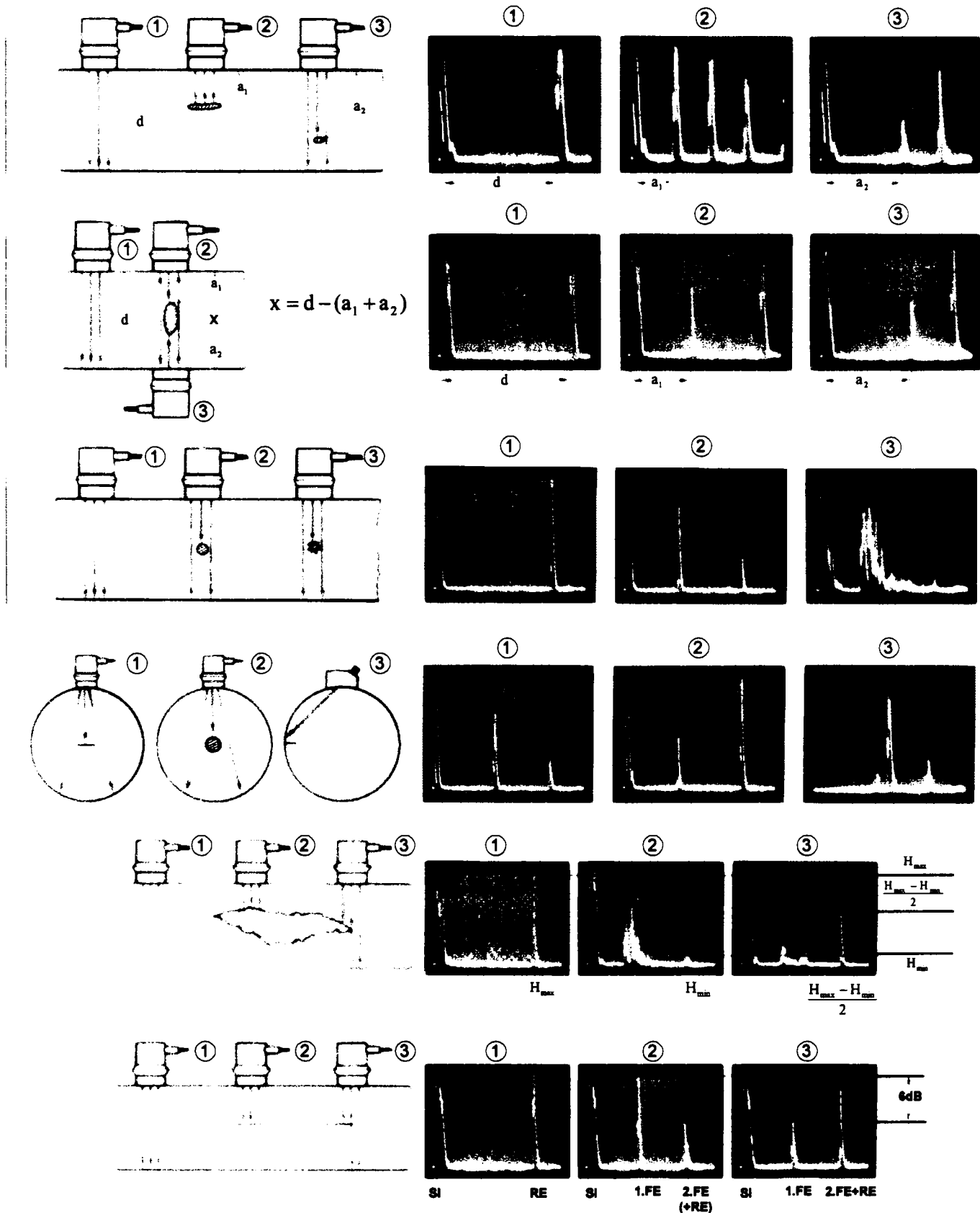


Fig. 2.71 Indicații ale unor defecte depistate la controlul cu ultrasunete

Pentru efectuarea controlului defectoscopic cu ultrasunete, la camele individuale sau la arborii cu came monobloc, trebuie să fie parcurse următoarele faze:

- se detectează ecoul de fund și se ajustează amplificarea la 80% din nivelul ecranului, acesta fiind nivelul de referință (R). Evaluarea discontinuităților se va face prin compararea acestuia cu semnalul reflectat de discontinuitate (D), prin intermediul raportului $K=D/R$;
- suprafețele camei sau arborelui cu came, aflate în stare eboșată cu o rugozitate aritmetică R_a de maxim 12,5 μm , astfel prelucrate încât să permită atât examinarea radială, cât și cea axială, sunt acoperite cu ulei (de preferință cu vâscozitatea cât mai mare), prin pensulare, uleiul fiind agentul de cuplare a palpatorului cu cama;
- la examinarea în direcție radială, dacă nu se evidențiază al treilea ecou de fund, controlul va fi considerat ca neconcludent, cama sau arborele cu came necesitând o nouă operație de tratament termic;
- la examinarea în direcție axială, se consideră controlul satisfăcător dacă se evidențiază cel de-al doilea ecou.

Criteriile de acceptare/respingere pentru un raport $K \geq 1/2$ sunt:

- nu se acceptă defecte cu lungime mai mare de 20 mm;
- defectele între care distanța este mai mică de 50 mm nu sunt acceptate;
- atenuarea ecoului de fund mai mare de 12 dB nu este acceptată.

Testarea cu ajutorul particulelor magnetice este o metodă simplă și relativ ușor de utilizat ce se aplică în diferite stadii ale procesului de fabricație începând din anii 1930.

Obiectivele testării cu particule magnetice sunt:

- obținerea unor imagini ale stării suprafeței materialului;
- reliefarea naturii discontinuităților;
- separarea materialelor în acceptabile și neacceptabile potrivit unor standarde sau norme.

Metoda se bazează pe faptul că fisurile superficiale din piesele magnetizate se pot detecta cu ajutorul pilurii de fier sau oxizilor de fier, care rămân pe zona respectivă a piesei și marchează astfel fisura, așa cum este prezentat în figura 2.72, de cele mai multe ori fisura fiind neobservabilă cu ochiul liber.

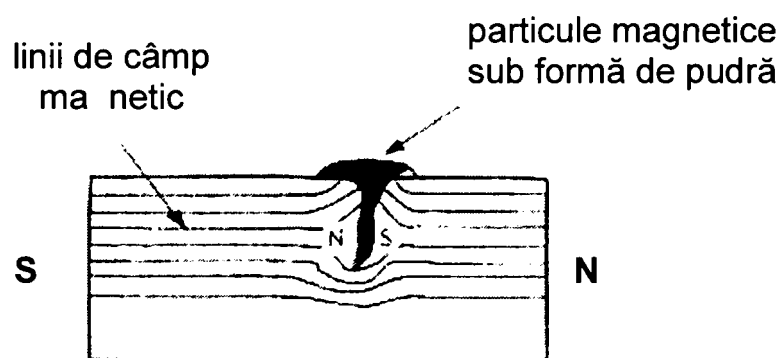


Fig. 2.72 Detectarea fisurilor cu ajutorul particulelor magnetice

Câmpul magnetic trebuie să fie perpendicular pe direcția fisurii, pentru a produce un flux de dispersie optim și deci și o indicație de fisură corespunzătoare. Paralelismul dintre direcția fisurii și cea a câmpului magnetic nu dă naștere nici unui câmp de dispersie și deci nici unei indicații de fisură. În această situație, câmpul magnetic trece pe lângă fisură, fără vreo influență semnificativă, cum este reprezentat și în 2.73.

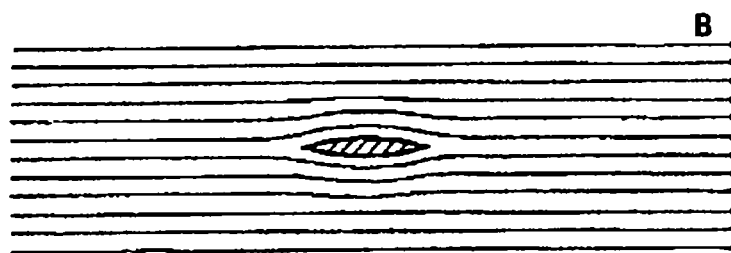


Fig. 2.73 Câmp magnetic paralel cu direcția fisurii

Dacă trebuie să fie detectate fisuri cu orientare arbitrară, ceea ce nu se obține doar dintr-o singură direcție de magnetizare, ci sunt necesare două magnetizări, orientate perpendicular una față de cealaltă. Aceasta se poate realiza dacă se rotește cu 90° obiectul de controlat sau direcția de magnetizare și prin diferite metode se execută magnetizări separate, succesiv, sau în anumite condiții, chiar simultan.

Magnetizarea poate fi realizată fie prin trecerea unui curent electric prin piesă (metoda cu flux de curent prin piesă), fie prin așezarea piesei într-un câmp magnetic creat de o bobină sau magneți permanenți (metoda cu flux magnetic prin piesă).

Metoda cu flux de curent prin piesă, conform definiției, curentul care produce câmpul magnetic circulă prin piesa controlată sau printr-o parte a acesteia. Curentul poate fi introdus în piesă de la o sursă exterioară, prin puncte de contact. În funcție de forma și dimensiunile piesei, ca și de puterea sursei de curent, piesa poate fi străpunsă de curent în întregime sau pe porțiuni. Câmpul magnetic format este întotdeauna perpendicular pe direcția curentului electric.

La metoda cu flux magnetic prin piesă, cu ajutorul unui montaj inductiv curentul poate fi indus, fără contacte electrice, în piesă.

Mediile de control cu particule magnetice (PM) trebuie să fie feromagnetice și ar trebui să aibă un contrast de culoare cât mai pronunțat față de suprafața piesei. Materialul de bază îl formează fierul pur și oxidul de fier, ambele în formă de pulbere. Pilitura de fier, folosită la începuturile aplicării metodei, nu se mai utilizează astăzi din cauza dimensiunilor prea mari ale particulelor, cel mai adesea neuniform distribuite, care aveau ca urmare o sensibilitate redusă de indicare. În afară de pulberea de fier pur se utilizează și oxidul de fier măcinat. Fierul pur are culoare gri metalic, Fe_2O_3 prezintă culoare roșu ruginiu, iar Fe_3O_4 este negru. La aceleași dimensiuni ale granulelor, pulberea de fier pur, chiar dacă are densitate mai mare, este mai sensibilă decât oxizii de fier, aceștia fiind mai ușori, datorită permeabilității mai ridicate. La aceiași substanță folosită, sensibilitatea de indicare crește cu cât dimensiunile particulelor devin mai mici. Contrastul poate scădea în acest caz, în funcție de rugozitatea suprafeței, întrucât particulele mici pot adera mecanic la suprafața piesei, chiar fără să existe flux de dispersie. Pe suprafețele prelucrate, strălucitoare, depozitele de pulbere neagră se recunosc cu ușurință. Pe piese turnate sau forjate, oxidate sau sablate, un contrast bun este oferit de pulbere roșie sau de cea gri metalic, contrast ce poate fi îmbunătățit prin colorarea pulberii.

Pentru aceasta, particule feromagnetice trebuie acoperite cu pigmenți colorați, cu ajutorul unui adeziv din rășină sintetică. Pigmentul și adezivul sunt nemagnetice, făcând astfel particulele acoperite mai puțin sensibile. Fenomenul este parțial sau chiar total compensat prin folosirea pigmenților fluorescenți. La iradierea cu lumină ultravioletă (UV), indicațiile strălucesc și sunt mai clar de recunoscut decât depozitele mai largi de pulbere necolorată.

Pentru exemplificare, mai jos sunt prezentate procedura și limitele de acceptare, la controlul cu particule magnetice, a arborilor cu came monobloc de la motoarele Diesel tip R 251.

Procedura de control este formată din următoarele faze:

- se așează arborele în bobină pentru a detecta defectele de pe circumferință și se folosește un curent intermitent de 1200-1500 A cu soluția aplicată;
- se controlează;
- se așează arborele între plăci pentru a detecta defectele longitudinale folosind un curent intermitent de 2000-2500 A cu soluția aplicată;
- se controlează;
- se demagnetizează după control.

Limitele de acceptare sunt:

- pe toate suprafețele călite nu se permit fisuri de călire sau de rectificare;
- pe flancul de deschidere și pe raza de racordare a vârfului camei de injecție nu se permit indicații deschise, indicațiile nedeschise, individuale mai lungi de 6 mm și totale mai lungi de 12 mm, nu sunt permise; de asemenea nu sunt permise indicații nedeschise la muchiile camelor;
- pe flancul de închidere și cercul de bază al camei de injecție și toate suprafețele camelor de admisie și evacuare nu se admit indicații deschise individuale mai lungi de 9,5 mm sau totale mai lungi de 25 mm pe o suprafață de 25x25 mm. De asemenea nu sunt permise indicații deschise la muchiile razei de racordare a vârfului camei, indicații nedeschise individuale mai lungi de 12 mm sau totale mai lungi de 38 mm nu se admit.

2.7 Concluzii privind stadiul actual al tehnologiei de prelucrare a camelor plane

Solicitările puternice la care sunt supuse mecanismele cu came, care asigură distribuția motoarelor Diesel de puteri mari, au impus utilizarea materialelor cu proprietăți mecanice ridicate pentru execuția elementelor cuplei cinematice. Suprafețele superficiale aflate în contact, ale camelor și a rolei tachetului, trebuie să fie durificate și cu un grad de netezire ridicat, iar miezul lor trebuie să fie suficient de tenace, pentru a putea prelua șocurile ce apar în timpul funcționării mecanismului.

Cel mai utilizat material pentru confecționarea camelor este oțelul. Dintre oțeluri, cele mai utilizate sunt cele carbon de calitate și cele aliate. Stabilirea materialului și a modului de elaborare al semifabricatului se face în urma unui studiu tehnico-economic, la care influența hotărâtoare o are seria de fabricație. În situația în care seria de fabricație este mică, nu este indicată utilizarea oțelurilor care se durifică superficial prin curenți de înaltă frecvență. La călirea prin curenți de înaltă frecvență este necesară o dotare și o SDV-istică costisitoare, care poate fi amortizată numai în situația în care se execută un număr ridicat de came individuale sau arbori cu came. Durificarea stratului superficial prin cementare urmată de călire, nu necesită o dotare și SDV-istică costisitoare, însă manopera necesară executării camelor este mai ridicată decât în cazul durificării prin curenți de înaltă frecvență, ceea ce justifică utilizarea acestui procedeu la seriile mici de fabricație.

Indiferent de modul de elaborare al semifabricatelor, în scopul refacerii și finisării structurii precum și pentru a înlătura sau reduce tensiunile interne, trebuie să fie aplicate tratamente termice primare, de normalizare și detensionare. Detensionarea se

aplică semifabricatelor după operațiile de prelucrări mecanice de eboșare, atât a profilului camei cât și a celorlalte suprafețe.

Prelucrarea primară a profilului se poate face prin strunjire sau frezare. Strunjirea profilului camei se pretează la arbori cu came monobloc fabricați în serie mică sau mijlocie. Pentru efectuarea acestei operații este necesară adaptarea unui strung normal, care să fie dotat cu sistem de copiere hidraulic. Așa cum s-a arătat în subcapitolul 2.3.1, dotarea stungului normal nu este costisitoare, în raport cu prețul unei mașini specializate de frezat profilul camei. Operația de frezare a profilului camei se pretează la prelucrarea profilului camelor individuale și se poate face prin două procedee: prin copiere după șablon sau prin comandă numerică. Copierea după șablon se justifică numai în situația în care nu este disponibilă o mașină de frezat cu comandă numerică, deoarece pentru a obține aceeași precizie, la procedeul de copiere după șablon este necesară o SDV-istică mai costisitoare și o calificare mai înaltă a operatorului. În situația în care arborii cu came monobloc sunt fabricați în serie mare, se justifică frezarea profilului camei pe mașini specializate cu comandă numerică, acestea asigurând o productivitate superioară.

Prin strunjire sau frezare nu se pot prelucra suprafețe durificate, iar precizia de prelucrare este redusă față de cerințele impuse profilului camelor. Datorită preciziei reduse a profilului camei generat după operațiile de prelucrare primară, pentru a obține un strat durificat, pe o adâncime constantă de-a lungul profilului camei este necesară executarea unei operații de rectificare, înaintea tratamentului termic secundar.

Tratamentul termic secundar are ca scop durificarea superficială a profilului camei, astfel încât după prelucrarea finală a profilului să se obțină duritatea și adâncimea minimă, prescrise stratului durificat.

După tratamentul termic secundar, pentru îndepărtarea adaosului de material, a cărui duritate este în jurul valorii de 60 HRC, astfel încât să se obțină o precizie în limitele cerute de documentația de execuție și o suprafață fără defecte, este recomandată operația de rectificare. Operația de rectificare a profilului camei se poate efectua prin copiere sau cu ajutorul comenzii numerice. Ambele procedee asigură precizia necesară profilului camelor utilizate la mecanismul de distribuție al motoarelor Diesel de mare putere. Prin alegerea corespunzătoare a regimurilor de așchiere și a sculelor abrazive se pot obține suprafețe fără defecte superficiale. Ambele procedee presupun utilizarea unor mașini de rectificat specializate, particularități deosebite apărând doar la rectificarea profilului camei prin copiere după șablon.

Pentru controlul profilului camei sunt necesare dispozitive speciale sau verificatoare speciale. În funcție de seria de fabricație, gradul de automatizare al verificatoarelor poate fi mai ridicat sau mai redus. În fabricația de serie mare se justifică un grad mai ridicat de automatizare, pentru a nu perturba procesul de fabricație. În cazul producției de serie mică se pot proiecta dispozitive de verificat care, executate cu costuri reduse, să satisfacă cerințele de precizie a măsurătorilor, în detrimentul productivității.

Numai controlul dimensional nu este suficient pentru camele individuale sau arborii cu came ce fac parte din mecanismul de distribuție al motoarelor Diesel. La aceste piese fiind impuse de regulă limite stricte în acceptarea defectelor de material, sunt necesare investigații privind starea materialului în profunzime și superficial, prin metode nedistructive. Astfel, pentru determinarea defectelor de profunzime se efectuează controlul nedistructiv cu ultrasunete încă din faza de eboșare a semifabricatului, iar pentru determinarea defectelor din stratul superficial se efectuează controlul nedistructiv cu particule magnetice.

Capitolul 3. OPTIMIZAREA FACTORILOR TEHNOLOGICI LA PRELUCRAREA PRIMARĂ A PROFILULUI

La proiectarea tehnologiei de prelucrare mecanică prin aşchiere se impune asigurarea unei eficienţe cât mai ridicate în realizarea piesei.

Prin eficienţă se înţelege raportul:

$$E = \left(\frac{X}{Y} \right)_t \quad (3.1)$$

dintre mărimea de intrare X , numită efort şi mărimea de ieşire Y , numită efect, într-un anumit timp de prelucrare t .

Deoarece efortul depus nu se regăseşte complet în efectul obţinut, pentru ca eficienţa să fie maximă, la prelucrarea mecanică prin aşchiere trebuie să fie optimizaţi parametrii de lucru, pentru a obţine:

- răsplata maximă la un efort dat, într-un anumit timp;
- efort minim la o răsplată impusă, într-un anumit timp;
- timp de prelucrare cât mai mic, la piesa dată.

Orice producător este interesat în primul rând în obţinerea de profituri maxime în intervalul de timp dat.

Pentru asigurarea profitului maxim, acoperirea investiţiilor şi a cheltuielilor curente, care includ preţul de cost şi al prelucrării propriu-zise (al manoperei) este necesar să se asigure o productivitate ridicată în fiecare stadiu de producţie.

Optimizarea integrală a prelucrării mecanice prin aşchiere se realizează numai prin programare dinamică. Aceasta însă, presupune anumite dificultăţi de realizare practică. De aceea se recurge la optimizarea parţială a regimurilor de aşchiere, în funcţie de condiţiile de lucru concrete.

Pentru rezolvarea unei probleme de optimizare privind tehnologia prelucrării mecanice se parcurg următoarele etape:

- sublinierea condiţiilor în care se face analiza prelucrării;
- alegerea variabilelor de decizie;
- stabilirea funcţiilor obiectiv;
- punerea restricţiilor funcţiilor obiectiv.

3.1. Optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea profilului prin strunjire

Analiza prelucrării mecanice prin strunjire se va face în trei condiţii simplificatoare:

- prima simplificare constă în separarea efectelor prin variaţia succesivă a câte unui parametru, ceilalţi fiind menţinuţi constanţi. Această simplificare prezintă riscul de a nu obţine optimul global din cauza interacţiunilor directe între doi sau mai mulţi parametri;

- a doua simplificare constă în determinarea parametrilor într-un spațiu bidimensional, deci o optimizare plană. Simplificarea introdusă poate duce la pierderea influenței unui parametru asupra funcției obiectiv;
- a treia simplificare constă în folosirea unor relații empirice, stabilite experimental, care doar dau o imagine apropiată de cea reală, privind procesul de așchiere.

Variabilele de decizie la strunjire sunt redată grafic în figura 3.1, acestea fiind:

- T - durabilitatea sculei așchietoare, în min;
- t - adâncimea de așchiere, în mm;
- s - avansul de lucru, în mm/rot;
- v - viteza de așchiere, în m/min.

Durabilitatea sculei reprezintă timpul efectiv de așchiere a sculei până la reascuțire, moment dat de criteriul de uzare adoptat. Altfel spus durabilitatea unei scule este timpul efectiv de așchiere a sculei între două reascuțiri.

Adâncimea de așchiere este lungimea de contact dintre tăișul sculei și piesă, măsurată perpendicular pe direcția avansului.

Avansul reprezintă deplasarea sculei la un ciclu de așchiere, adică la o rotație completă a piesei

Viteza de așchiere este viteza relativă dintre sculă și piesă, și constituie variabila de decizie cea mai importantă.

Cea mai importantă expresie de legătură între variabilele de decizie este relația lui Taylor:

$$T = \frac{C_0}{v^m \cdot s^n \cdot t^u} \text{ [min]} \quad (3.2)$$

în care:

- C_0 - constantă determinată de cuplul de materiale piesă – sculă și condițiile de lucru (fără răcire, cu răcire).
- $1/m$ - exponent supraunitar de influență a vitezei asupra durabilității sculei.
- $1/n$ - exponent supraunitar de influență a avansului asupra durabilității sculei.
- $1/u$ - exponent supraunitar de influență a vitezei asupra durabilității sculei.

Sucesiunea de stabilire a parametrilor regimului de așchiere este dată de gradul de influență a acestora asupra durabilității sculei. Cea mai mare influență o are viteza de așchiere iar cea mai mică influență o are adâncimea de așchiere. Ordinea de calcul a celor trei parametri va fi cea inversă gradului de influență.

Dintre cei trei parametri, la mașina - unealtă doar adâncimea și avansul se reglează direct, în timp ce viteza de așchiere se reglează prin intermediul turației dată de relația:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad \left[\frac{\text{rot}}{\text{min}} \right] \quad (3.3)$$

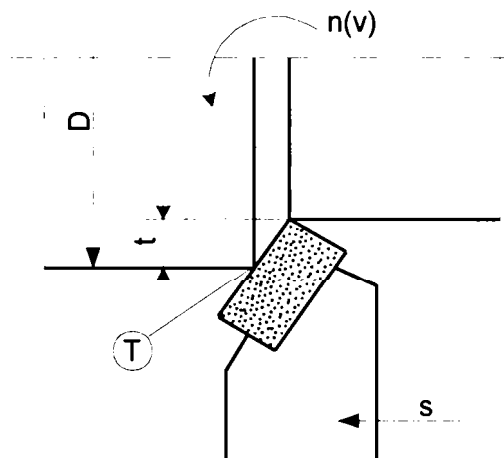


Fig 3.1 Parametrii caracteristici procesului de așchiere prin strunjire

în care:

- n - turația de lucru, în rot/min.
- D - diametrul piesei sau sculei, în mm.

În cazul strunjirii, în general, la optimizarea parametrilor regimului de așchiere, ca indicatori economici, se aleg funcțiile obiectiv:

- C_p - costul prelucrării, în lei / operație;
- Q_p - productivitatea prelucrării, în cm^3/min .

Rezolvarea problemei de optim constă în "minimalizarea sau maximalizarea" funcției obiectiv și găsirea valorilor "optime" ale variabilelor de decizie.

Se folosesc, de regulă, două criterii:

-criteriul costului minim de prelucrare: $C_p \rightarrow C_{p \min}$.

-criteriul productivității maxime de prelucrare: $Q_p \rightarrow Q_{p \max}$.

La aplicarea acestor criterii, cercetările experimentale și practica uzinală, au arătat că nu se poate atinge atât punctul de minim pentru cost cât și punctul de maxim pentru productivitate, la aceeași valoare a durabilității sculei, așa cum rezultă și din diagrama prezentată în figura 3.2.

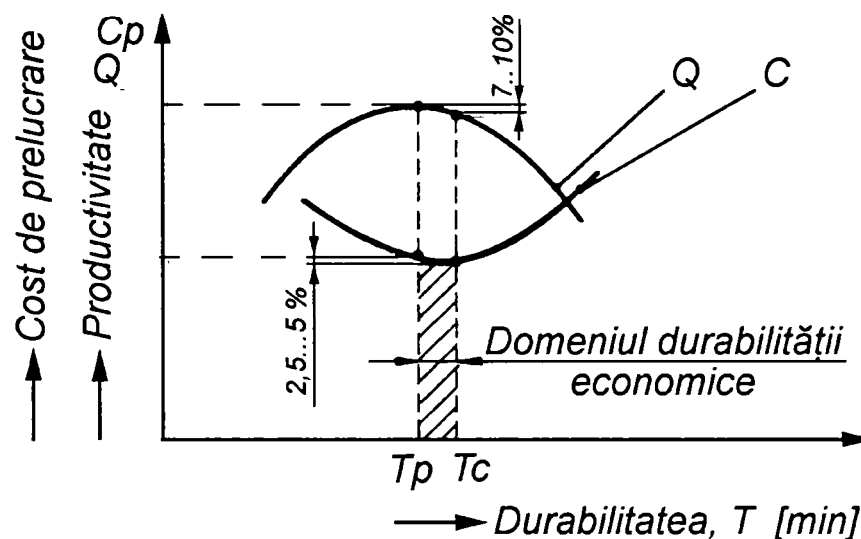


Fig. 3.2 Funcțiile obiectiv la optimizarea regimurilor de așchiere în cazul strunjirii

Din diagramă se observă că variația costului de prelucrare (C_p) este mai lină, în timp ce variația productivității (Q_p) este mai accentuată. Pentru un cost minim se obține o durabilitate mai mare decât durabilitatea pentru o productivitate maximă. Aplicarea criteriului costului minim duce la o anumită scădere a productivității cu 7...10%, iar aplicarea criteriului productivității maxime duce la scumpirea piesei prelucrate cu 2...5%. Regimul optim de prelucrare este între valorile date de aceste criterii.

În cazul particular al strunjirii profilului camelor, pentru motoare Diesel de puteri mari, se aleg ca funcții obiectiv precizia de prelucrare și costul prelucrării. Prin alegerea optimă a parametrilor regimului de așchiere, se urmărește realizarea unei precizii maxime la costuri minime ale prelucrării. Desigur, productivitatea ca funcție obiectiv nu trebuie neglijată, dar nu prezintă o importanță atât de mare ca precizia și costul. Deoarece, în componența motoarelor Diesel de puteri mari intră o serie de repere cu ciclu de fabricație mai lung decât al arborilor cu came, exemple fiind: blocul motor, arborele cotit, chiulasele, pistoanele, biebele ș.a., acestea dau tonul fabricației motorului.

La operațiile de eboșare, în mod normal, precizia de prelucrare nu este o funcție obiectiv a optimizării parametrilor regimului de așchiere. În cazul prelucrării primare a

profilului camei, neglijarea acestei funcții, poate conduce la perturbarea operațiilor ulterioare ale profilului camei, sau chiar rebutarea arborelui cu came.

3.1.1 Prezentarea instalației experimentale

Pentru prelucrarea prin strunjire a profilului camelor de la arborii cu came, ce intră în componența mecanismului de distribuție a motoarelor tip R251, s-a adaptat pentru copiere strungul universal model 1 M 63 - 630x2800. Parametrii constructivi caracteristici ai acestui strung sunt prezentați în tabelul 3.1, iar o vedere de ansamblu a strungului, în timpul prelucrării profilului camei, este prezentată în figura 3.3.

Tabel 3.1

Denumirea parametrului	Valoarea
Diametrul maxim al piesei de prelucrat [mm]	630
Distanța maximă între vârfuri [mm]	2800
Gama avansului longitudinal [mm/rot]	0,064...1,025
Gama avansului transversal [mm/rot]	0,026...0,378
Gama rotațiilor [rot/min]	10, 12, 16, 20, 25, 31, ..., 1250
Puterea motorului electric [kW]	11

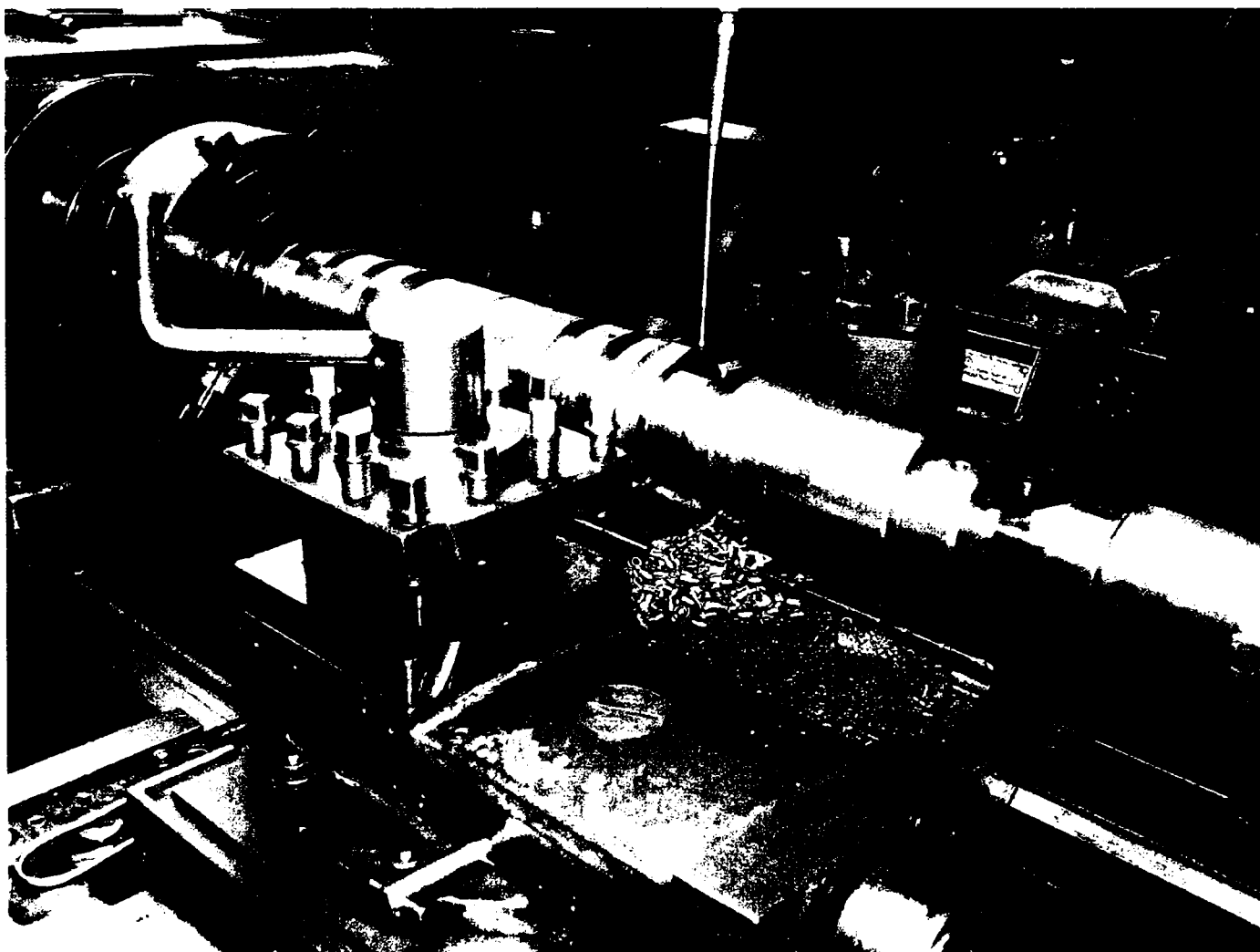


Fig. 3.3 Strungul model 1 M 63 - 630x2800 adaptat pentru prelucrarea prin copiere a profilului camelor de pe arborele cu came al motorului Diesel tip R 251

Modificarea adusă acestei mașini – unelte, care inițial era un strung normal, constă în montarea pe partea din spate a batiului, a patru suportți. Pe aceștia este montată o riglă, prevăzută cu canal de pană pe întreaga lungime. La montare, rigla se centrează astfel încât canalul de pană să fie paralel cu axa strungului, abaterea maximă de la paralelism fiind de 0,02 mm pe un metru liniar. Acest lucru se realizează prin amplasarea unui comparator cu cadran pe căruciorul strungului, palpatorul acestuia fiind așezat pe flancul canalului de pană. Prin deplasarea căruciorului de-a lungul ghidajelor batiului se poate alinia rigla astfel încât abaterea maximă de la paralelism să se încadreze în limita maximă, mai înainte precizată. Pe capătul arborelui principal al strungului se montează o roată dințată, al cărei rol este de-a transmite mișcarea de rotație la arborele cu came etalon. Transmiterea mișcării se face cu raport de transmitere 1:1, prin intermediul unui tren de roți dințate. Trenul de roți dințate este amplasat într-o carcasă angrenaj montată pe păpușa fixă a strungului și pe capătul riglei, așa cum se poate observa în figura 3.4. Pe arborele de ieșire al trenului de roți este montat un distanțier, prevăzut cu vârf și știft. Rolul vârfului este de-a susține arborele cu came etalon, acesta fiind fixat cu ajutorul păpuși mobile amplasată pe capătul opus al riglei. Pentru a asigura paralelismul arborelui cu came etalon cu axa strungului, atât cutia angrenajului cât și păpușa mobilă sunt ghidate pe canalul de pană practicat în riglă, prin intermediul penelor montate pe aceste subansamble.

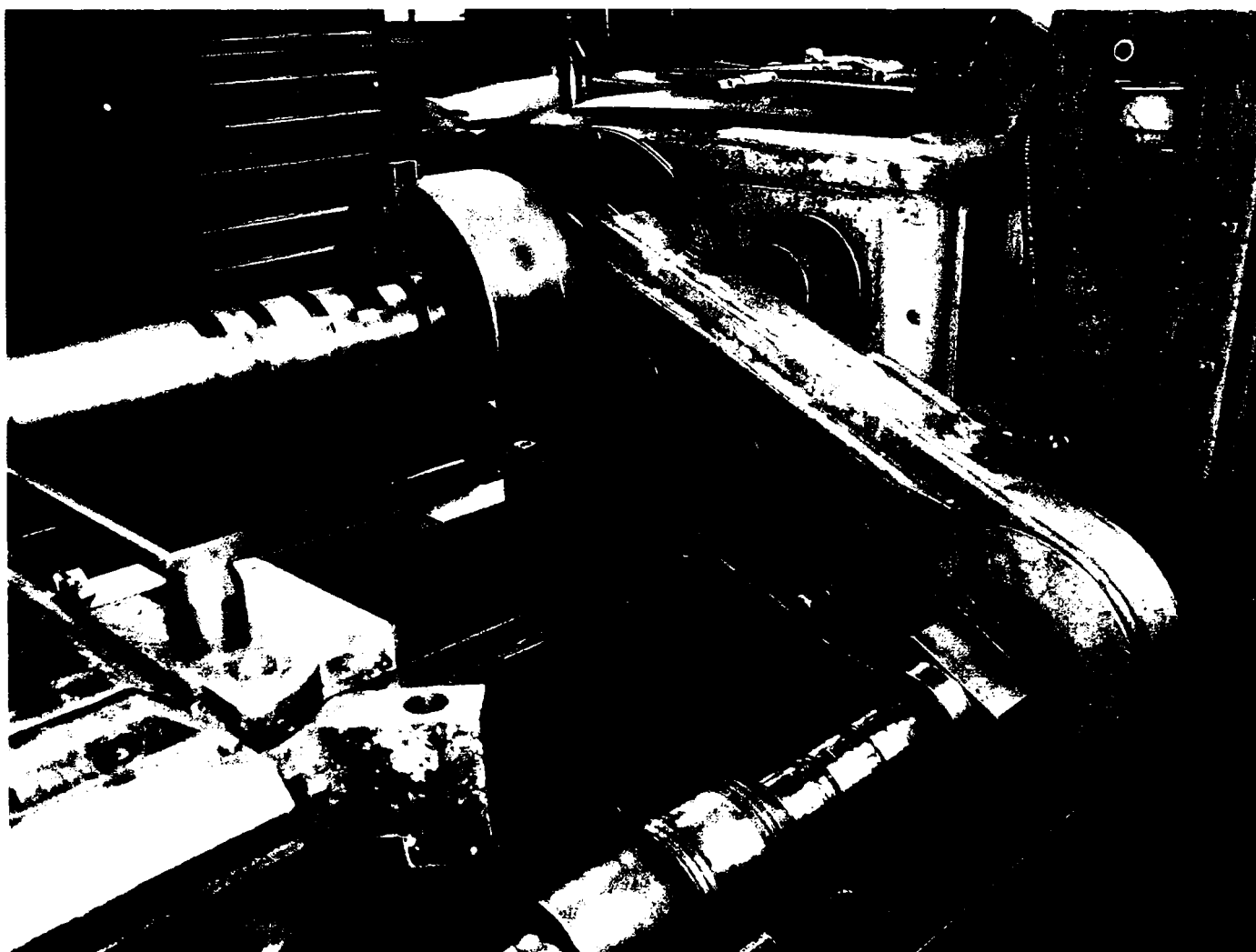


Fig.3.4 Adaptarea strungului 1 M 63 pentru strunjirea prin copiere a profilului camelor

Rolul știftului este de-a antrena în mișcare de rotație arborele cu came etalon, prin intermediul alezajului practicat în flanșa arborelui cu came etalon. De asemenea, acesta asigură și transpunerea decalajului unghiular dintre camele situate pe același tronson de arbore cu came etalon la arborele cu came care se strunjește. Pentru aceasta, pe partea frontală a mandrinei universale este amplasată o flanșă, prevăzută cu un știft ce intră în alezajul flanșei arborelui ce urmează a fi prelucrat. La prima montare a cutiei angrenajului, cele două știfturi sunt aduse în aceeași poziție unghiulară, și se marchează, prin punctarea a trei dinți, un gol și un dinte al roți dințate de pe arborele principal și cea de intrare în cutia angrenajului. Lungimea distanțierului fiind astfel stabilită ca flanșele arborilor cu came, etalon și cel ce urmează a fi prelucrat, să fie în același plan.

Pe sania transversală este amplasat sistemul hidraulic de copiere SHC 500, fabricat la NAPOMAR Cluj – Napoca, așa cum este arătat în figura 3.5.

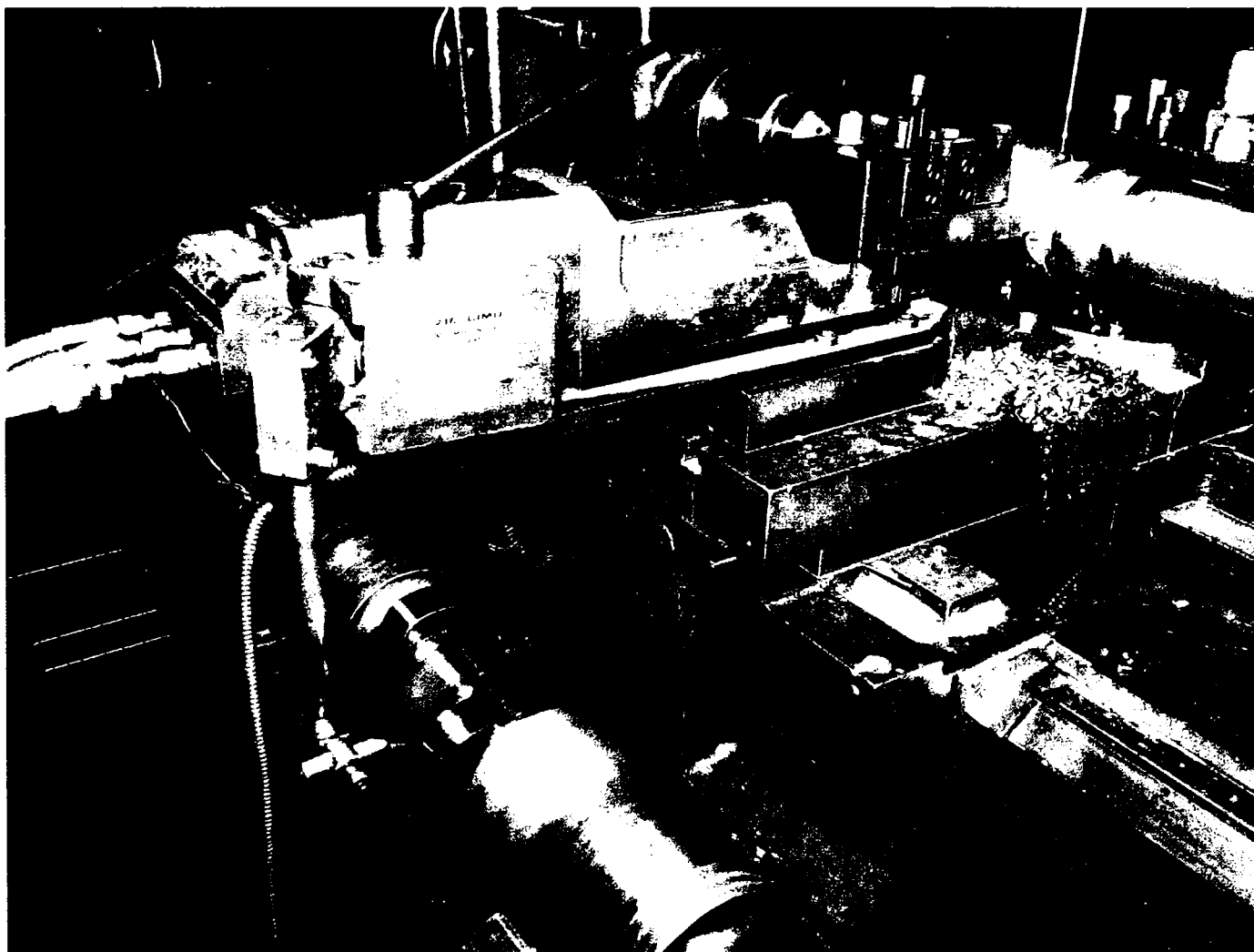


Fig. 3.5 Amplasarea sistemului hidraulic de copiere pe sania transversală a strungului

Sistemul de copiere hidraulic are sertar de urmărire cu patru muchii de comandă, principalii parametri constructivi fiind prezentați în tabelul 3.2. La montarea sistemului hidraulic de copiere s-a avut în vedere ca palpatorul acestuia să formeze cu axa arborelui cu came etalon un plan paralel cu planul de lucru, format din direcțiile de avans longitudinal și transversal al strungului, cum este reprezentat în figura 3.6.

Ca arbori cu came etalon au fost utilizați arbori cu came importăți de la licențiator, respectiv firma ALCO din USA. Pentru a recunoaște arborii cu came etalon s-au canelat fusele lagărelor, cum se poate observa și în figura 3.5.

Tabelul 3.2

Denumirea parametrului	Valoarea
Înălțimea de la suprafața de montare până la vârful sculei [mm]	100
Înălțimea maximă a secțiunii cuțitului montat în suportul portsculă [mm]	32
Cursa maximă a saniei de copiat [mm]	125
Unghiul de poziționare al saniei de copiat față de axa principală a strungului [°]	De la 0 la 90 din 30 în 30
Viteza maximă de deplasare a saniei de copiat de-a lungul ghidajelor ei [m/min]	$2,5^{\pm 10\%}$
Forța nominală maximă dezvoltată de sistemul de acționare al saniei de copiat [kN]	8
Forța de palpăre [N]	$10^{+ 50\%}$
Secțiunea maximă a așchii la prelucrarea oțelului cu $R_m=520 \text{ N/mm}^2$ [mm ²]	2
Presiunea de lucru maximă în sistemul hidraulic [bar]	20
Puterea motorului electric de acționare a pompei [kW]	1,1
Puterea de antrenare a strungului până la circa [kW]	17



Fig. 3.6 Palpatorul sistemului hidraulic de copiere

Pentru verificarea profilului camelor generate prin copiere pe strung s-a conceput un dispozitiv special. Pe un batiu existent, de la un dispozitiv de controlat roți dințate, au fost amplasate un cap divizor optic și o păpușă mobilă. Aceasta poate culisa pe un canal de pană practicat pe întreaga lungime a batiului, prin intermediul unei pene, așa cum se poate observa în figura 3.7. Capul divizor optic este amplasat cu axa sa în centrul canalului, tot prin intermediul unei pene.

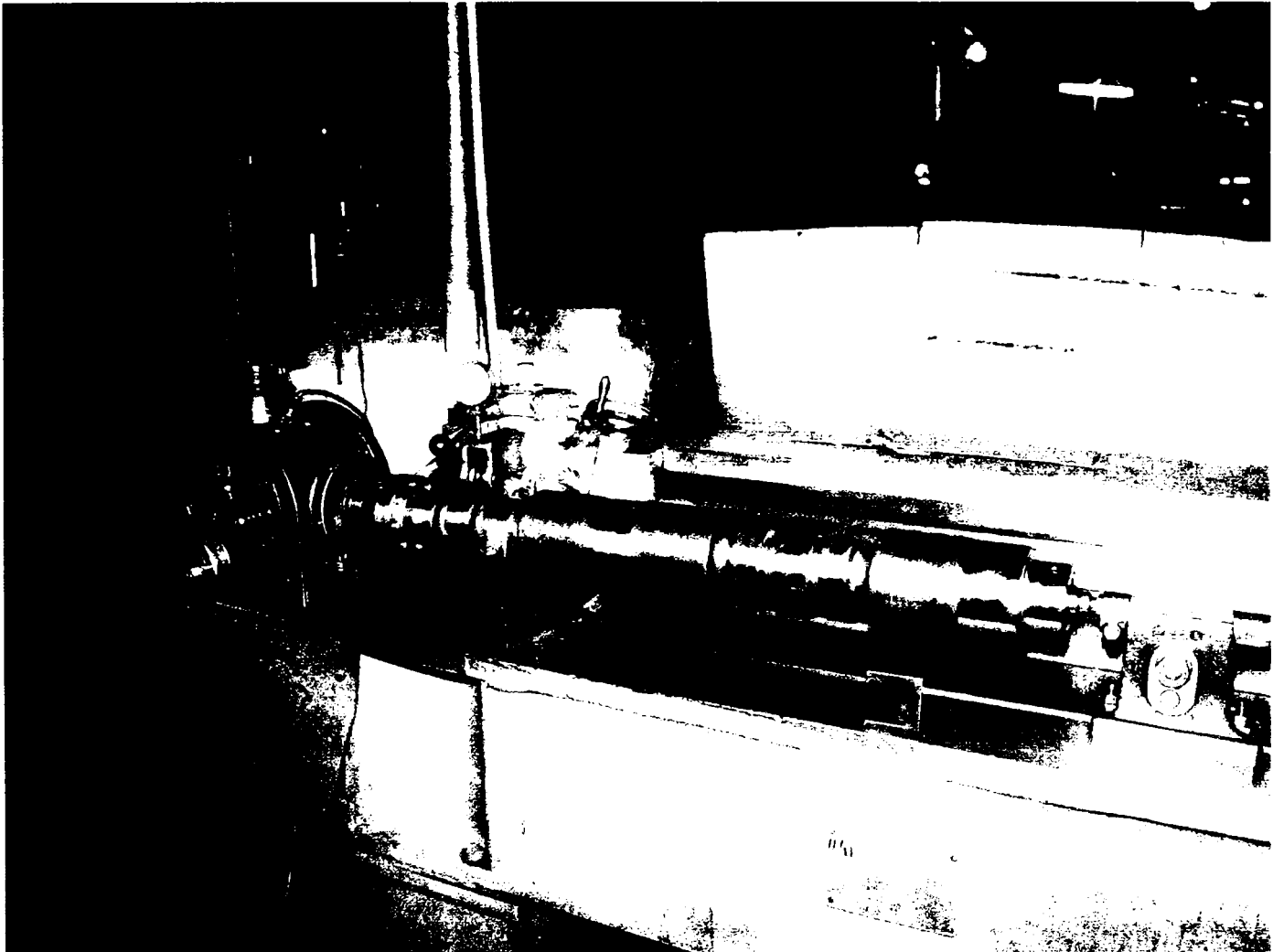


Fig. 3.7 Dispozitiv pentru verificarea profilului camelor de la arborii cu came ai motorului Diesel tip R251

În partea din spatele batiului s-a montat o placă, având o suprafață plană perpendiculară pe planul orizontal al batiului. Placa este prevăzută cu ghidaje pe care culisează sania longitudinală și cu o cremalieră. Deplasarea are loc prin intermediul unei acționări pinion - cremalieră, pinionul fiind antrenat în mișcare de rotație cu ajutorul unei roți de mână, subansamblul fiind dispus în sania longitudinală.

Pe sania longitudinală sunt prevăzute ghidaje pe care poate culisa o sanie transversală. Pe sania transversală a fost amplasat un suport al rolei de palpare, așa cum se poate observa în figura 3.8. Axa rolei trebuie să fie situată într-un plan perpendicular pe planul orizontal al batiului, ce conține și axa canalului de pană. Diametrul rolei este de 50,8 mm, identic cu cel al rolei tchetului. Contactul permanent dintre rolă și camă este asigurat prin intermediul unui arc, amplasat între sania longitudinală și cea transversală. Sania transversală poate fi blocată în poziția superioară, pentru a permite instalarea arborelui cu came ce urmează a fi controlat.

Pentru verificare arborele cu came este fixat între vârful capului divizor și cel al păpușii mobile. Pe arborele capului divizor este amplasat antrenorul, acesta fiind prevăzut cu un știft ce intră în alezajul din flanșa arborelui cu came.

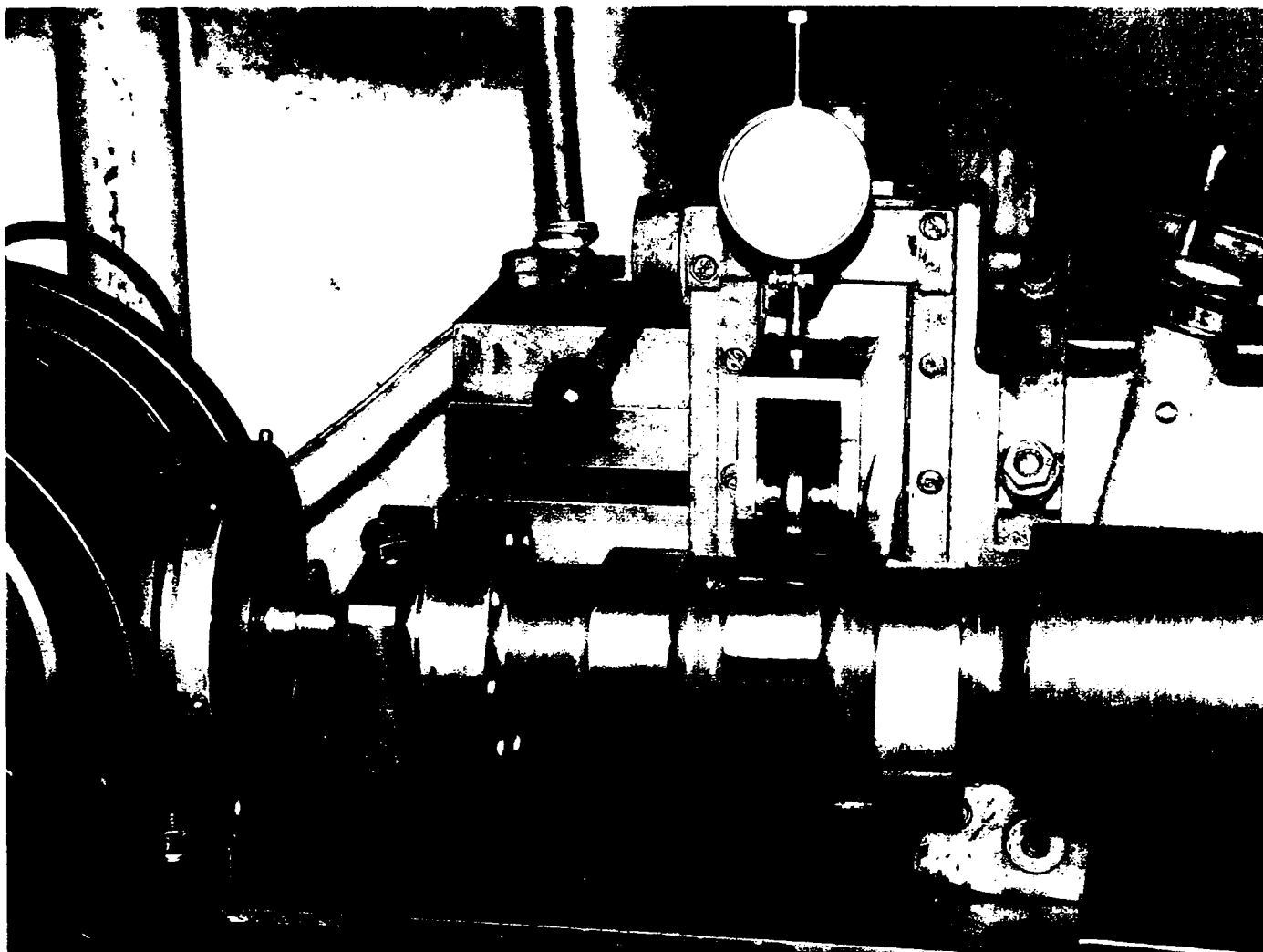


Fig. 3.8 Măsurarea cursei tachetului camei de injecție de la motorul Diesel tip R 251

Divizarea unghiulară se face cu o precizie de 5", iar citirile cursei saniei transversale, aferente diferitelor poziții unghiulare, se efectuează cu ajutorul unui comparator cu cadran amplasat în partea superioară a saniei longitudinale.

Utilizând cele două instalații prezentate, s-au efectuat experimentări privind influența factorilor tehnologici asupra profilului camelor generate prin strunjire.

3.1.2 Optimizarea turației piesei

În cazul general al strunjirii, viteza de așchiere se stabilește cu ajutorul formulei 3.2, după ce au fost stabilite valorile adâncimii de așchiere, avansului și durabilitatea. Cunoscând valoarea vitezei, turația se stabilește cu formula (3.3).

Particularitățile operației de strunjire a profilului camei nu permit aplicarea succesiunii prezentate mai sus. După cum se poate observa în figura 3.9, viteza rezultantă de așchiere v_e se obține prin compunerea a două mișcări: o mișcare de rotație a camei cu viteza unghiulară (ω) constantă, din care rezultă viteza de așchiere v și o mișcare de translație a cuțitului pe direcție radială, cu viteza v_f .

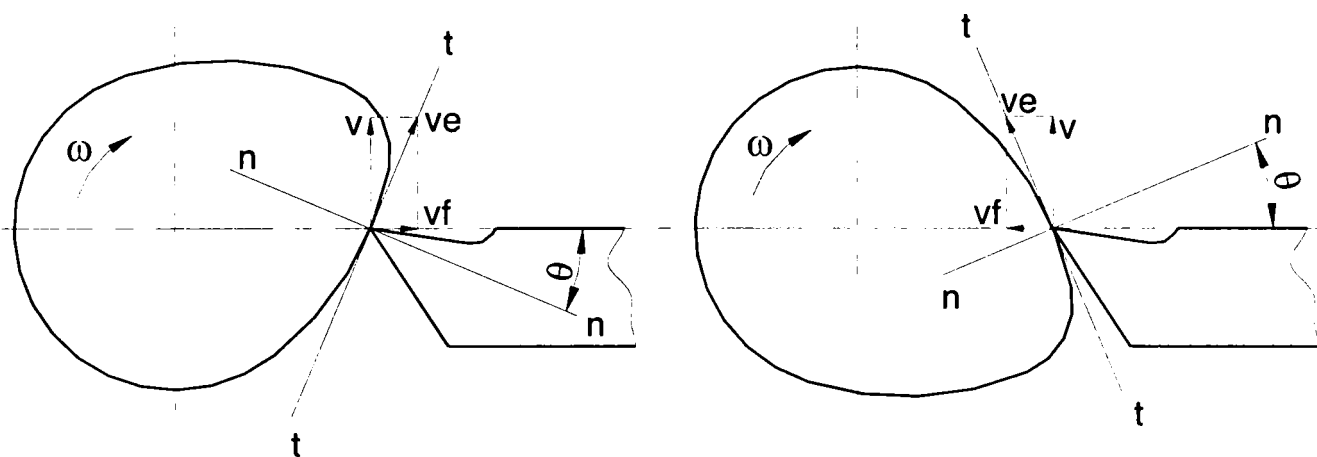


Fig. 3.9 Cinematica procedeului de strunjire a profilului camei

Așa cum s-a arătat la prezentarea instalației experimentale, viteza de deplasare a saniei de copiat, deci a cuțitului pe direcție radială, este limitată din construcția sistemului de copiere. Pornind de la premiza că tachelul este punctiform, viteza v_f va fi egală cu viteza tachelului, aceasta fiind dată de relația (3.4) [21].

$$v_{tachel} = v_f = \omega \cdot r \cdot \operatorname{tg}\theta \quad (3.4)$$

în care:

- r este raza polară;
- θ este unghiul de presiune, format între normala la profil n - n și direcția vitezei tachelului.

Pentru a determina turația maximă la strunjirea profilului camei este necesară determinarea valorii minime a produsului $r \cdot \operatorname{tg}\theta$. Așa cum s-a arătat, în cazul motoarelor Diesel de puteri mari tachelul este prevăzut cu rolă iar coordonatele profilului camei, prescrise în desenele de execuție sunt cele teoretice, ale centrului rolei tachelului. Deci, pentru determinarea razei polare, în ipoteza că tachelul este punctiform, trebuie să fie stabilite coordonatele profilului real al camei.

Calcularea coordonatelor profilului real al camei se poate face pornind de la schema prezentată în figura 2.9, și utilizând relațiile (2.26). Cunoscând valoarea minimă a produsului de mai sus, determinarea turației maxime se poate face cu relația (3.5).

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot v_{f \max}}{2 \cdot \pi \cdot (r \cdot \operatorname{tg}\theta)_{\min}} \quad [\text{rot/min}] \quad (3.5)$$

Pentru a realiza operativ aceste calcule am întocmit două programe de calcul, unul pentru efectuarea analizei cinematice a mecanismului cu camă și altul pentru determinarea coordonatelor profilului real al camei. Cu ajutorul primului program, pe lângă alți parametrii cinematici, se calculează valorile unghiului de presiune. Iar cu cel de-al doilea program se determină valorile razei polare și valoarea minimă a produsului $r \cdot \operatorname{tg}\theta$. Pentru efectuarea acestor calcule am ales din pachetul Microsoft Office, programul Excel. Acest program se pretează cel mai bine la calcul tabelar, fiind ușor de utilizat și, în același timp, cel mai puternic de pe piața software [71]. De asemenea, acest program are avantajul că există o mare probabilitate de a fi deja instalat pe calculatoarele aflate în dotarea serviciilor tehnologice.

Viteza, accelerația, raza de curbura și unghiul de presiune s-au calculat pentru turația nominală a motorului ținând cont de următoarele formule:

- Viteza medie între punctele i+1 și i: $v_m = \frac{s_{i+1} - s_i}{\varphi_{i+1} - \varphi_i} \cdot \frac{180 \cdot n}{30000}$ [m/s] (3.6)

- Accelerația medie între punctele i+1 și i: $a_m = \frac{v_{i+1} - v_i}{\varphi_{i+1} - \varphi_i} \cdot \frac{180 \cdot n}{30}$ [m/s²] (3.7)

- Raza de curbură: $\rho = \pm \frac{\left[(R_0 + s)^2 + \left(\frac{v}{\omega} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{(R_0 + s)^2 + 2 \left(\frac{v}{\omega} \right)^2 - (R_0 + s) \cdot \frac{a}{\omega^2}}$ [mm] (3.8)

- Unghiul de presiune: $\theta = \arctg \frac{\frac{v}{\omega}}{R_0 + s}$ [°] (3.9)

- semnul + semnifică faptul că profilul camei este convex;
- semnul - semnifică faptul că profilul camei este concav.

Așa cum s-a arătat la subcapitolul 1.3.2, pe fiecare tronson de arbore cu came sunt dispuse came ce au trei tipuri de profil, respectiv admisie, evacuare și injecție, fiind necesară determinarea turației maxime pentru fiecare tip de profil. Deoarece prelucrarea cu turații diferite a celor trei tipuri de camă poate ridica probleme tehnologice, se alege valoarea cea mai mică dintre cele trei turații maxime determinate. Din gama de turații a strungului, turația inferioară valori mai înainte aleasă va fi reglată pentru strunjirea profilului camei.

Introducând coordonatele polare ale profilului celor trei came, de admisie, de evacuare și de injecție, în programele menționate mai sus, a rezultat că turația minimă se obține la strunjirea profilului camei de injecție. Rezultatele obținute în urma rulării programelor sunt prezentate în tabelele 3.3 și 3.4

Tabel 3.3

Unghi de rotire φ [°]	Cursa s [mm]	Viteza v_m [m/s]	Accelerația a_m [m/s ²]	Raza de curbura ρ [mm]	Unghi de presiune θ [°]
1	2	3	4	5	6
0°	0	0.000	0.000	41.377	0
1° 30'	0.0279	0.042	251.100	2410.345	31°7'45"
3°	0.1092	0.164	480.600	47.702	32°14'35"
4° 30'	0.2438	0.324	479.700	49.756	29°39'54"
6°	0.4343	0.488	503.100	47.654	27°19'5"
7° 30'	0.6781	0.651	479.700	57.732	30°46'23"
9°	0.9829	0.823	549.000	47.313	28°15'11"
10° 30'	1.3436	0.998	503.100	66.268	29°20'42"
12°	1.7653	1.174	549.000	62.128	31°14'10"
13° 30'	2.2479	1.356	548.100	75.031	29°59'24"
15°	2.7965	1.547	594.000	74.103	30°17'13"
16° 30'	3.4112	1.745	594.900	94.227	32°40'16"

18°	4.0994	1.954	661.500	88.711	29°33'11"
19°	4.5974	2.153	529.000	69.821	27°4'23"
20° 30'	5.3644	2.271	180.000	66.599	25°36'43"
22°	6.1214	2.286	-90.000	37.229	25°14'2"
23° 30'	6.863	2.248	-138.600	34.951	25°22'55"
25°	7.5895	2.202	-135.900	35.583	25°37'16"
26° 30'	8.3007	2.157	-137.700	35.965	25°52'37"
28°	8.9941	2.107	-160.200	35.171	26°11'46"
29° 30'	9.6723	2.057	-136.800	36.963	26°32'2"
30° 59'	10.3327	2.019	-93.122	40.319	26°46'1"
31° 59'	10.7619	1.968	-326.299	28.753	27°14'17"
32° 59'	11.1836	1.915	-151.875	37.079	27°45'11"
33° 59'	11.5951	1.875	-206.550	34.294	28°7'37"
34° 59'	11.9989	1.834	-155.925	37.391	28°31'26"
35° 59'	12.3926	1.794	-204.525	34.873	28°56'10"
36° 59'	12.776	1.748	-208.575	34.878	29°27'4"
37° 59'	13.1495	1.703	-200.475	35.537	29°59'6"
38° 59'	13.495	1.618	-567.000	22.614	31°9'54"
39° 59'	13.8099	1.486	-619.650	21.338	31°30'50"
40° 59'	14.0868	1.332	-769.500	18.456	32°11'35"
41° 59'	14.3256	1.160	-771.525	18.216	30°11'35"
42° 59'	14.5288	0.995	-720.900	18.873	31°50'13"
43° 59'	14.6939	0.829	-771.525	17.893	30°7'37"
44° 59'	14.8234	0.663	-720.900	18.598	28°49'37"
45° 59'	14.9148	0.497	-771.525	17.665	29°43'12"
46° 59'	14.9707	0.331	-718.875	18.452	30°26'20"
47° 59'	14.9885	0.166	-771.525	17.532	31°54'36"
48° 15'	14.9885	0.040	-761.000	17.678	32°13'37"
Intervalul 47° 59' ÷ 72° 31' este zona de repaus superior					
72° 31'	14.9885	0.000	0.000	56.365	0
73° 31'	14.9707	-0.040	-360.450	27.663	32°13'37"
74° 31'	14.9148	-0.166	-771.525	17.493	31°54'14"
75° 31'	14.8234	-0.331	-718.875	18.372	30°26'20"
76° 31'	14.6939	-0.497	-771.525	17.550	29°43'12"
77° 31'	14.5288	-0.663	-720.900	18.440	28°49'37"
78° 31'	14.3256	-0.829	-771.525	17.704	30°7'37"
79° 31'	14.0868	-0.995	-720.900	18.639	31°50'13"
80° 31'	13.8099	-1.160	-771.525	17.956	30°58'55"
81° 31'	13.495	-1.332	-769.500	18.160	32°11'35"
82° 31'	13.1495	-1.486	-619.650	20.974	31°30'50"
83° 31'	12.776	-1.618	-567.000	22.205	31°23'38"
84° 31'	12.3926	-1.703	-200.475	34.931	30°13'16"
85° 31'	11.9989	-1.748	-208.575	34.265	29°41'31"
86° 31'	11.5951	-1.794	-204.525	34.245	29°10'59"
87° 31'	11.1836	-1.834	-155.925	36.716	28°46'26"

88° 31'	10.7619	-1.875	-206.550	33.647	28°22'55"
89° 31'	10.3327	-1.915	-151.875	36.380	28°0'47"
91°	9.6723	-1.968	-220.027	32.361	27°34'8"
92° 30'	8.9941	-2.019	-92.067	39.225	27°10'19"
94°	8.3007	-2.057	-136.800	35.843	26°57'4"
95° 30'	7.5895	-2.107	-160.200	34.070	26°37'23"
97°	6.863	-2.157	-137.700	34.817	26°18'54"
98° 30'	6.1214	-2.202	-135.900	34.421	26°4'12"
100°	5.3644	-2.248	-138.600	33.783	25°50'28"
101° 30'	4.5974	-2.286	-90.000	35.971	25°42'14"
102° 30'	4.0994	-2.271	270.000	89.446	26°0'32"
104°	3.4112	-2.153	529.200	84.770	27°27'50"
105° 30'	2.7965	-1.954	661.500	84.219	30°0'40"
107°	2.2479	-1.745	594.900	89.099	30°21'47"
108° 30'	1.7653	-1.547	594.000	70.293	31°7'44"
110°	1.3436	-1.356	548.100	71.192	32°14'35"
111° 30'	0.9829	-1.174	549.000	59.267	29°39'54"
113°	0.6781	-0.998	503.100	63.364	27°19'5"
114° 30'	0.4343	-0.823	549.000	45.671	30°46'23"
116°	0.2438	-0.651	479.700	55.923	28°15'11"
117° 30'	0.1092	-0.488	503.100	46.558	29°20'42"
119°	0.0279	-0.324	479.700	48.956	31°14'10"
120° 30'	0	-0.164	480.600	47.377	29°59'24"
122°	0	0	0	47.377	30°17'13"
Intervalul 120° 30' ÷ 360° este zona de repaus inferior					

Tabelul 3.4

Unghi φ [°]	Raza polară a profilului real r [mm]	Valoarea produsului $r \cdot \operatorname{tg} \theta$
0°	41,3766	0
1°30'	41,4045	25,00538275
3°	41,4858	26,16850478
4°30'	41,6204	23,70684605
6°	41,8109	21,5976839
7°30'	42,0547	25,04331685
9°	42,3595	22,76343873
10°30'	42,7202	24,0176943
12°	43,1419	26,16503548
13°30'	43,6245	25,17646596
15°	44,1731	25,79936676
16°30'	44,7878	28,7213596
18°	45,476	25,78520547
19°	45,974	23,49949078
20°30'	46,741	22,4072515

22°	47,498	22,38583844
23°30'	48,2396	22,8878591
25°	48,9661	23,48353609
26°30'	49,6773	24,09792716
28°	50,3707	24,78121783
29°30'	51,0489	25,49096598
30°59'	51,7093	26,08317805
31°59''	52,1385	26,83996566
32°59'	52,5602	27,65749892
33°59'	52,9717	28,31670689
34°59'	53,3755	29,00953108
35°59'	53,7692	29,72719897
36°59'	54,1526	30,57703633
37°59'	54,5261	31,4618801
38°59'	54,8716	33,18670825
39°59'	55,1865	33,81833069
40°59'	55,4634	34,79212523
41°59'	55,7022	33,44280035
42°59'	55,9054	34,66281658
43°59'	56,0705	32,50293199
44°59'	56,2	30,89621145
45°59'	56,2914	32,10804769
46°59'	56,3473	33,05876456
47°59'	56,3651	35,0841848
48°15'	56,3651	35,49499782
49°15'...72°31'	56,3651	0
73°31'	56,3473	35,48378856
74°31'	56,2914	35,03831059
75°31'	56,2	32,97234416
76°31'	56,0705	31,98204855
77°31'	55,9054	30,73425373
78°31'	55,7022	32,28943595
79°31'	55,4634	34,38876497
80°31'	55,1865	33,13318148
81°31'	54,8716	34,42088979
82°31'	54,5261	33,41363705
83°31'	54,1526	33,04786499
84°31'	53,7692	31,32176137
85°31'	53,3755	30,43555616
86°31'	52,9717	29,58430117
87°31'	52,5602	28,86516109
88°31'	52,1385	28,17080383
89°31'	51,7093	27,51000933
91°	51,0489	26,65360554
92°30'	50,3707	25,85683086

94°	49,6773	25,25925189
95°30'	48,9661	24,54519389
97°	48,2396	23,85737334
98°30'	47,498	23,23821114
100°	46,741	22,6375142
101°30'	45,974	22,13022912
102°30'	45,476	22,18992353
104°	44,7878	23,28007081
105°30'	44,1731	25,51549875
107°	43,6245	25,55342002
108°30'	43,1419	26,05464918
110°	42,7202	26,94714235
111°30'	42,3595	24,12783504
113°	42,0547	21,72362032
114°30'	41,8109	24,89813544
116°	41,6204	22,3662561
117°30'	41,4858	23,32370312
119°	41,4045	25,1113236
120°30'	41,3766	23,87916335
125°	41,3766	24,16606665
130°...360°	41,3766	0
Valoarea minimă $r \cdot \operatorname{tg} \theta$		21,597
Valoarea maximă a turației		18,422

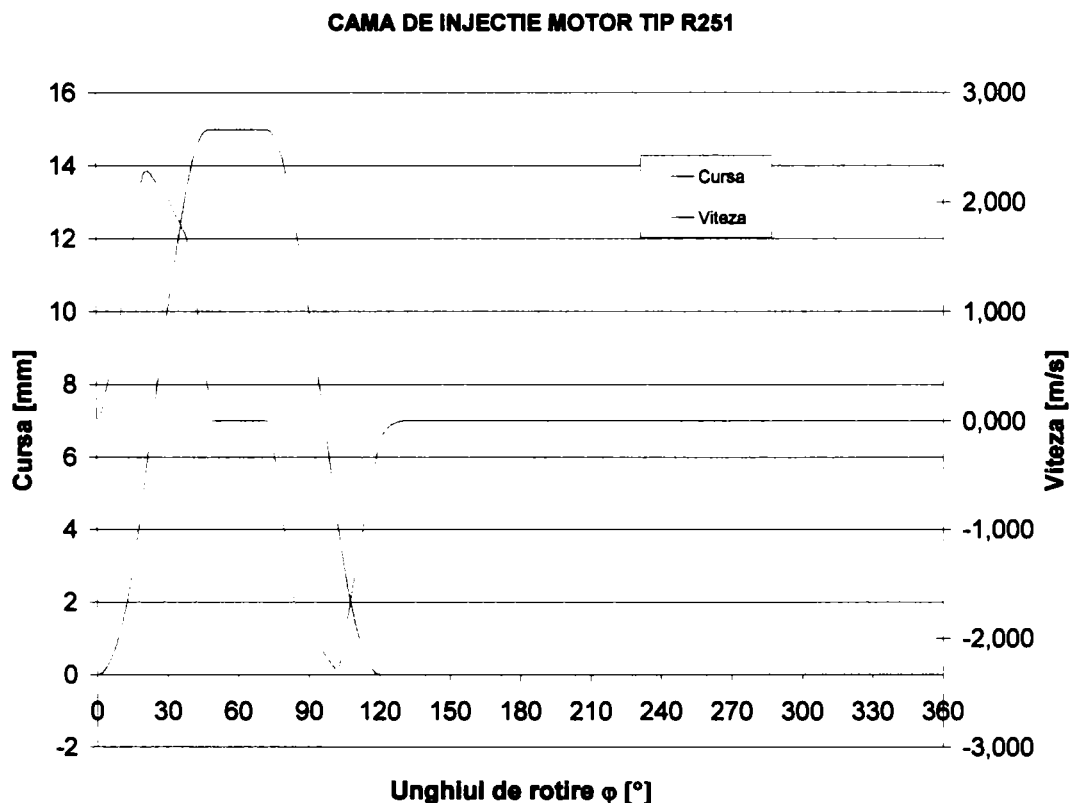


Fig. 3.10 Legea de mișcare și diagrama vitezelor tachetului camei de injecție a motorului Diesel tip R 251

Legea de mișcare a tachelului și diagrama vitezelor tachelului sunt reprezentate în figura 3.10, iar în figura 3.11 este reprezentată diagrama accelerațiilor. Analizând diagrama accelerațiilor tachelului se poate constata că, atât pentru cursa de ridicare, cât și pentru cea de coborâre apar șocuri elastice în funcționarea mecanismului cu camă.

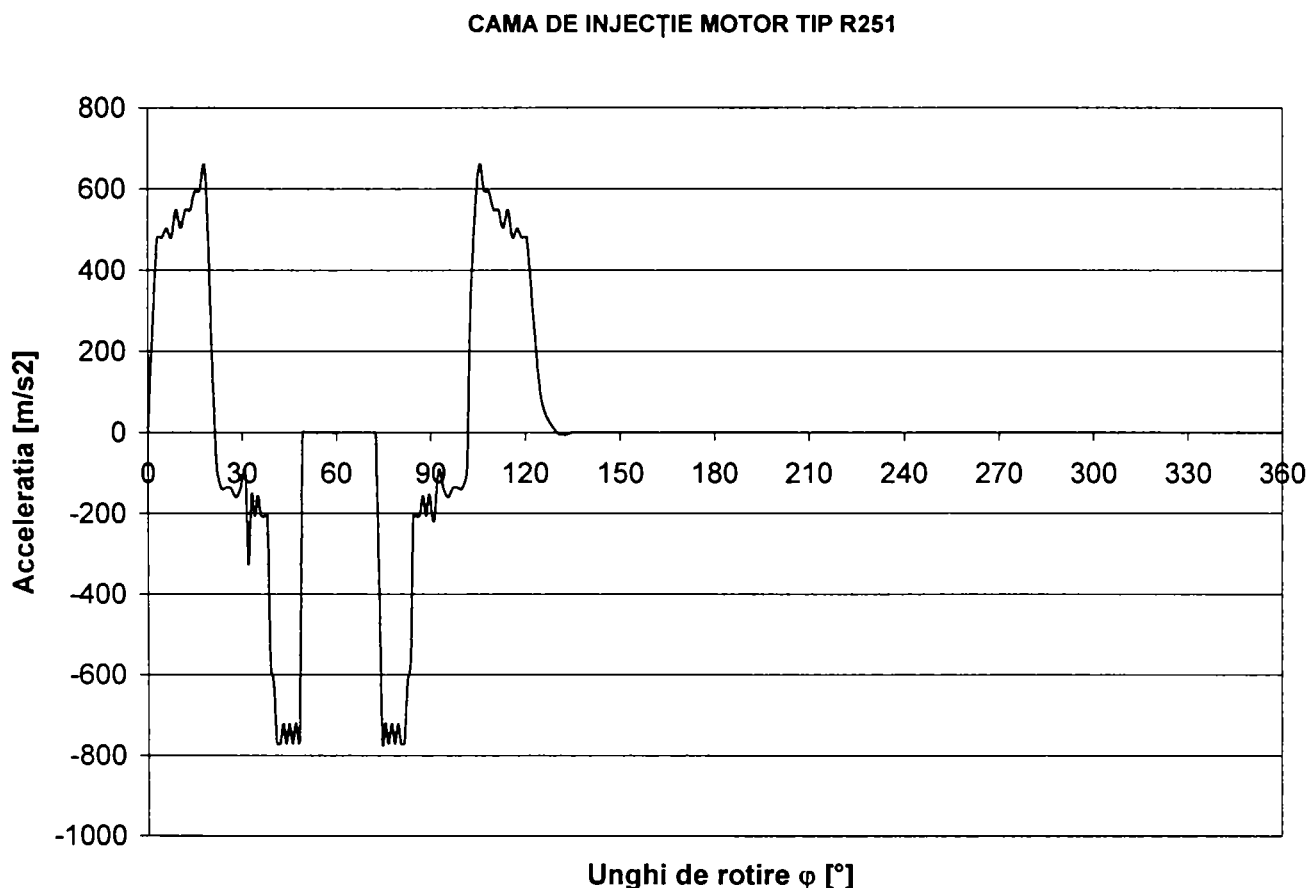


Fig. 3.11 Diagrama accelerațiilor tachelului camei de inecție a motorului Diesel tip R 251

La calcularea turației maxime s-a utilizat valoarea maximă a vitezei de translație în direcție radială a cuțitului ($v_{f \max}$) de 2,5 m/min (v. tabel 3.2), iar valorile produsului $r \cdot \operatorname{tg} \theta$ egale cu 0 au fost neglijate. Această situație apare atunci când se strunjește cercul de bază și de vârf a camii, viteza de translație în direcție radială fiind nulă, la fel ca și unghiul de presiune, iar directoarea cinematică circulară.

Analizând valorile turațiilor din gama de turații a strungului, prezentate în tabelul 3.1, se observă că numai trei turații sunt inferioare valorii de 18,422 rot/min, și anume: 16, 12 și 10 rot/min. Pentru cele trei valori ale turației s-au efectuat strunjiri ale profilului camelor.

În figura 3.12 sunt prezentate abaterile profilului camei de inecție, la strunjirea acestuia cu turația de 16 rot/min.

Se poate constata că abaterea totală de la profilul teoretic al camei este de 1,5 mm. Adaosul de prelucrare pentru operația următoare de prelucrare a profilului camii, respectiv rectificarea profilului înaintea tratamentului termic secundar, trebuie să fie mai mare sau cel puțin egal cu abaterea totală de la profilul teoretic. Pentru operația de rectificare această valoare a adaosului de prelucrare este considerată foarte mare, necesitând un timp îndelungat pentru îndepărtare, deci o manoperă mare.

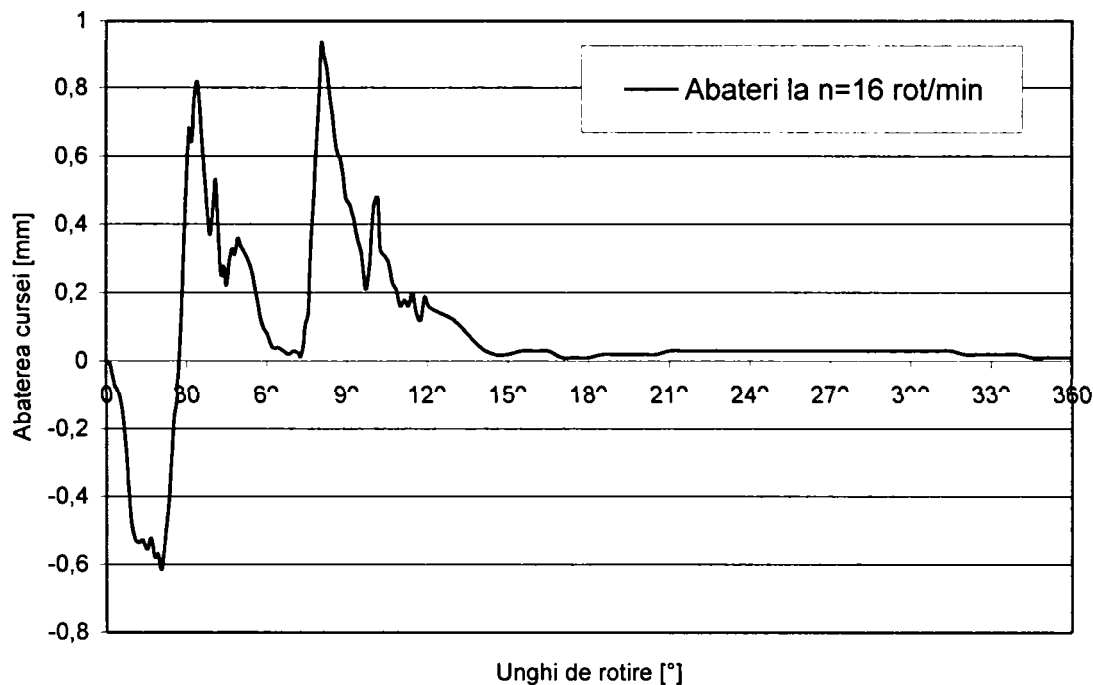


Fig. 3.12 Abaterile înregistrate la strunjirea profilului camei de injecție de la motorul Diesel tip R 251, cu turația de 16 rotații/minut

La strunjirea profilului camei de injecție cu turația de 12 rotații/minut s-au obținut abaterile reprezentate în figura 3.13.

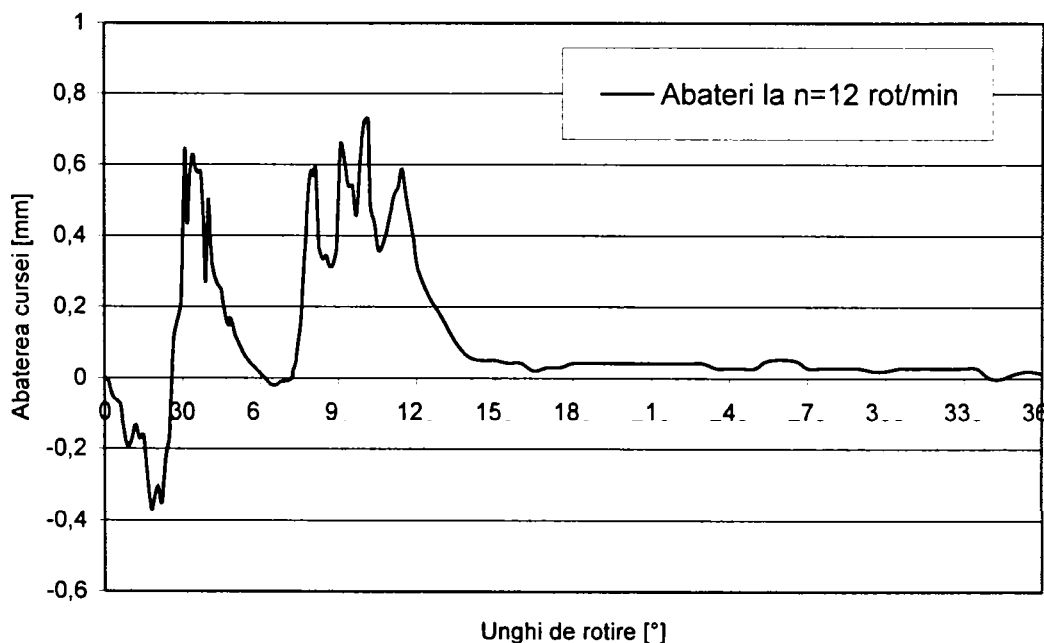


Fig. 3.13 Abaterile înregistrate la strunjirea profilului camei de injecție de la motorul Diesel tip R 251, cu turația de 12 rotații/minut

Și în acest caz abaterea totală de la profilul teoretic este mare, valoarea acesteia fiind de 1,1 mm, ceea ce presupune un adaos mare pentru operația de rectificare a profilului.

Strunjirea profilului camei cu turația de 10 rotații/minut, aceasta fiind și cea mai mică turație a strungului, a condus la abaterile prezentate în figura 3.14. Valoarea totală a abaterii de la profilul teoretic este de 0,7 mm. Și această valoare este mare pentru îndepărtat prin rectificare, necesitând o manoperă îndelungată. Efectuând operația de rectificare cu un avans de pătrundere de 0,015 mm/rot și cu o turație a piesei de 1,5 rot/min, sunt necesare peste 30 de minute pentru îndepărtarea stratului superficial cu abateri. Bineînțeles că la strunjirea profilului camei cu turațiile de 12 și 16 rotații/minut timpul necesar îndepărtării stratului superficial cu abateri este mai mare.

Abateri cu același ordin de mărime s-au obținut și la strunjirea profilului camelor de admisie și evacuare.

Suprapunând diagrama accelerațiilor tachetului cu diagrama abaterilor de la profilul teoretic în cazul strunjirii cu turația de 10 rotații/minut, cum este reprezentat în figura 3.15, se poate observa că valori mai mari ale abaterilor se înregistrează în vecinătatea zonelor de profil în care au loc variații ale accelerației. Acest lucru se datorează faptului că în acele zone forța de inerție, care este proporțională cu accelerația, înregistrează variații. În zonele profilului în care accelerația își schimbă sensul se înregistrează valorile cele mai mari ale abaterilor.

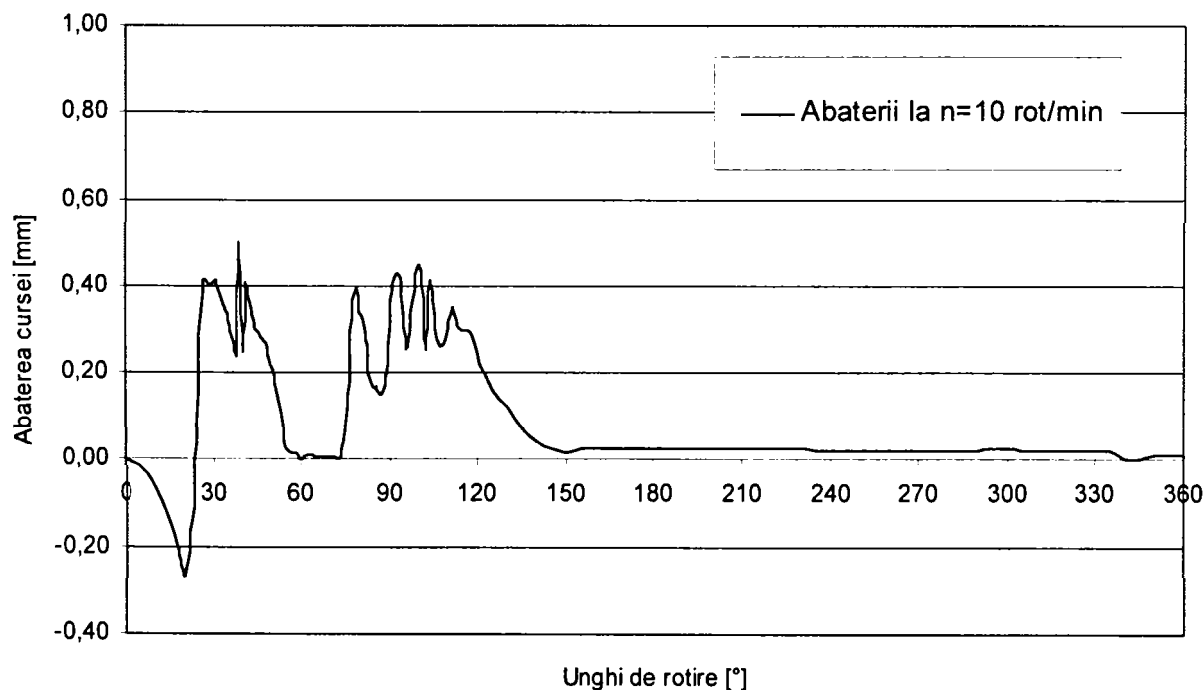


Fig. 3.14 Abaterile înregistrate la strunjirea profilului camei de injecție de la motorul Diesel tip R 251, cu turația de 10 rotații/minut

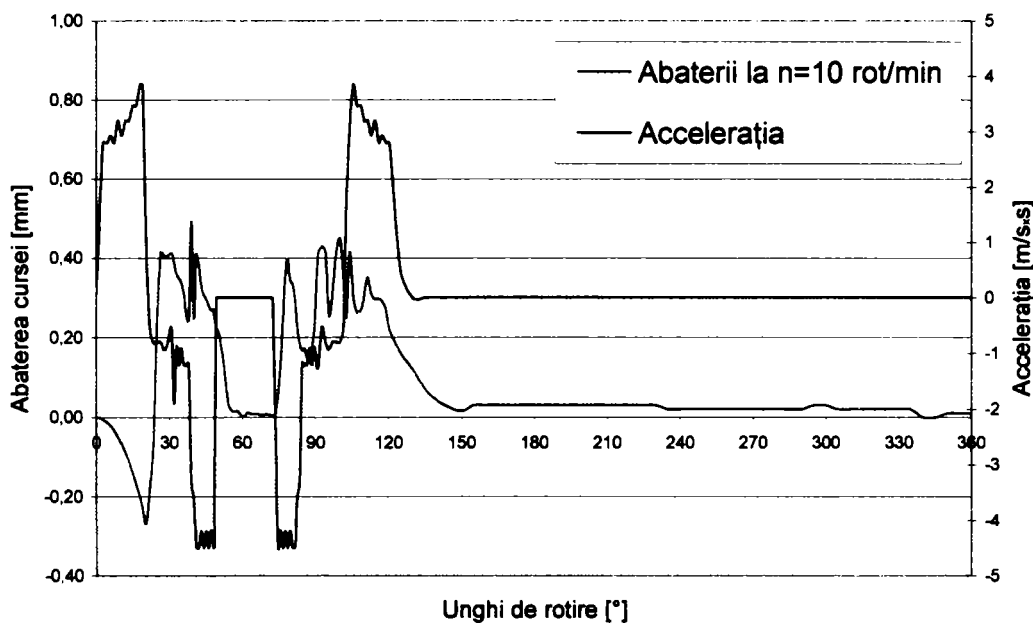


Fig. 3.15 Accelerația și abaterile înregistrate la strunjirea profilului camei de injecție de la motorul Diesel tip R 251, cu turația de 10 rotații/minut

3.1.3 Optimizarea adâncimii de așchiere și a avansului

La stabilirea succesiunii alegerii parametrilor regimului de așchiere, după cum se arată în literatura de specialitate [44; 74], se recomandă că, este mai avantajos să se mărească adâncimea de așchiere decât avansul.

Așa cum s-a arătat în subcapitolul anterior, în cazul particular al strunjirii prin copiere a profilului camelor, viteza de așchiere se determină din condiționarea preciziei de prelucrare. Pentru asigurarea unei precizii cât mai ridicate a profilului camelor generate prin așchiere este indicat să se lucreze cu o turație cât mai scăzută, respectiv cu o viteză mică de așchiere.

Lucrând cu o turație mică, timpul de bază t_0 necesar strunjirii profilului unei came va fi mare, după cum rezultă și din formula (3.10).

$$t_0 = \frac{B}{n \cdot s} \quad [\text{min}] \quad (3.10)$$

- în care:
- n – turația [rot/min];
 - B – este lățimea camei [mm];
 - s – avansul [mm/rot].

Timpul de bază are cea mai mare influență în costul operației de prelucrare, exprimat de relația:

$$C = t_0 \cdot c_b + \frac{t_c}{Q} \cdot c_b + \frac{C_s}{Q} \quad [\text{lei}] \quad (3.11)$$

- în care:
- c_b – este costul unui minut de prelucrare;
 - t_c – este timpul de staționare a mașinii-unelte pentru înlocuirea sculei;
 - C_s – reprezintă cheltuielile legate de exploatarea sculei pe perioada de durabilitate a acesteia;

- Q – reprezintă numărul de piese prelucrate în perioada de durabilitate.

Deci, pentru a reduce timpul de bază, se impune alegerea unui avans cât mai mare, dar nu în detrimentul adâncimii de aşchiere. Stabilirea valorilor adâncimii de aşchiere şi a avansului se face având ca funcţie obiectiv de optimizat, costul operaţiei de strunjire a profilului camei.

Pentru stabilirea adâncimii de aşchiere trebuie avut în vedere adaosul de prelucrare. Astfel, pentru a obţine parametrii prescrişi pentru fusele arborelui cu came s-a ales ca semifabricat o bară laminată cu diametrul de 120 mm. Aceasta este degroşată la diametrul de 116 mm, după care este controlată cu ultrasunete. Dacă bara corespunde din punct de vedere al controlului nedistructiv, trece la operaţia următoare, de găurire adâncă a alezajului central, pe întreaga lungime, necesar circuitului de ulei pentru ungerea fuselor arborelui cu came. După această operaţie, se prelucrează găurile de centrare, urmate de canelarea arborelui cu came. La această operaţie lăţimea camelor este prelucrată la cote finale, respectiv 38 mm pentru camele de injecţie şi 36 mm pentru camele de admisie şi evacuare. În acest stadiu de prelucrare al arborelui cu came, reprezentat şi în figurile 3.3, 3.4 şi 3.5, se poate trece la strunjirea prin copiere a profilului camelor.

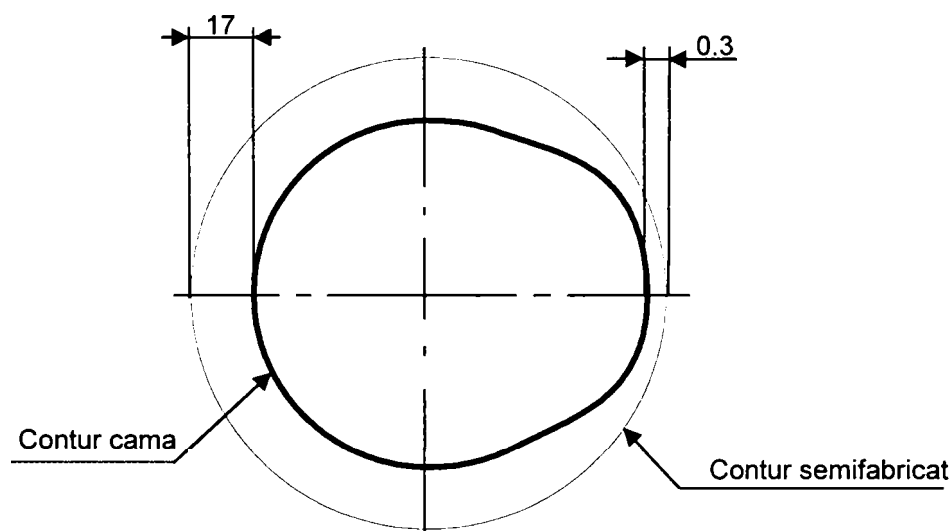


Fig. 3.16 Adaosul de prelucrare al camelor de admisie și evacuare de la motoarele Diesel tip R251

În figura 3.16 s-au reprezentat contururile semifabricatului și al camelor de admisie și evacuare. Acest profil a stat la baza stabilirii adaosului de prelucrare, deoarece profilul pentru aceste came prezintă o cursă mai mare decât cea a profilului de injecție, așa cum se poate observa și din figurile 1.11 și 1.12. Ținând cont de faptul că diametrul cercului de bază este egal la cele trei came, rezultă că adaosul maxim de prelucrare va fi identic, valoarea acestuia fiind de 17 mm. Calculele de aşchiere au arătat că acest adaos nu poate fi îndepărtat dintr-o trecere, fiind necesare două treceri, astfel s-a stabilit adâncimea de aşchiere maximă de 8,5 mm. Aceasta este variabilă de-a lungul conturului, astfel la prima trecere din zona de staționare superioară nu este adaos de prelucrare pentru îndepărtare. La a doua trecere, adâncimea de aşchiere variază de la valoarea maximă de 8,5 mm la valoarea minimă de 0,3 mm pentru camele de admisie și evacuare, respectiv 2,1 mm pentru camele de injecție.

La stabilirea valorii avansului se pornește de la faptul că sistemul hidraulic de copiere are impusă secțiunea maximă a așchii la prelucrarea oțelului cu o rezistență la

rupere de 520 N/mm², așa cum s-a prezentat în tabelul 3.2. Rezistența la rupere corespunde mărcii de oțel OL 52, pentru care forța de așchiere specifică, corespunzătoare unei grosimi de așchie de 0,2 mm, este de 2620 N/mm² [44]. Arborele cu came de la motorul Diesel tip R 251 este executat din oțel marca OLC 50XN, pentru care forța specifică de așchiere, corespunzătoare aceleiași grosimi de așchie, este de 3220 N/mm². Raportând forțele specifice de așchiere ale celor două materiale se obține un coeficient de 0,81, cu acest coeficient trebuie corectată secțiunea maximă a așchii prescrisă sistemului de copiere hidraulică. Obținând astfel pentru secțiunea maximă a așchii la prelucrarea oțelului OLC 50 XN, valoarea de 1,62 mm².

Secțiunea așchii este egală cu produsul dintre grosimea și lățimea așchii. Strunjirea profilului camei se execută cu un cuțit de strung care are unghiul de atac principal de 90°. În această situație grosimea așchii este egală cu valoarea avansului, iar lățimea așchii este egală cu adâncimea de așchiere.

Cunoscând că adâncimea de așchiere maximă este de 8,5 mm, se poate calcula valoarea maximă a avansului, aceasta fiind de 0,191 mm/rot. Din gama de avansuri a strungului se alege avansul imediat inferior, acesta fiind de 0,184 mm/rot.

Valoarea determinată a avansului trebuie verificată, prin satisfacerea următoarelor restricții:

- Pentru efectuarea procesului de așchiere este necesar ca puterea efectivă a strungului P_{ef} , să fie mai mare decât puterea necesară așchierii P . Puterea necesară așchierii se calculează cu formula:

$$P = \frac{F_z \cdot v}{6000} \quad [\text{kW}] \quad (3.12)$$

în care: F_z – este forța principală de așchiere, în daN;
 v – este viteza de așchiere, în m/min.

Substituind puterea necesară desfășurării procesului de așchiere cu puterea efectivă a mașinii-unelte, pentru strunjirea profilului camelor de la motoarele Diesel tip R251, se poate scrie următoarea inegalitate de restricție a avansului:

$$s \leq \left[\frac{77,2 \cdot P_{ef}}{n \cdot t} \right]^{1,22} \quad [\text{mm/rot}] \quad (3.13)$$

- Înălțimea maximă a cuțitului fiind impusă de fabricantul sistemului de copiere, se impune verificarea secțiunii corpului sculei așchietoare [73]. Aceasta se face tot prin restricționarea avansului, din condiționarea rezistenței la încovoiere a corpului cuțitului, cu ajutorul inecuației:

$$s \leq \left[\frac{0,062 \cdot b \cdot h}{t} \right]^{1,22} \quad [\text{mm/rot}] \quad (3.14)$$

în care: b – este lățimea secțiunii corpului cuțitului, în mm;
 h – este înălțimea secțiunii corpului cuțitului în mm.

Inecuația este valabilă numai pentru strunjirea profilului camelor de la motorul Diesel tip R251, în ipoteza că lungimea în consolă a cuțitului este maxim 1,5·h.

Efectuând calculele, s-a constatat că valoarea avansului de 0,184 mm/rot satisface inegalitățile de mai sus.

3.1.4 Optimizarea parametrilor geometrici ai sculei

La generarea prin strunjire a suprafețelor cu directoare necirculară, cum este și cazul generării prin strunjire a profilului camelor plane, parametrii geometrici ai părții active a sculei așchietoare se stabilesc ținând cont de particularitățile profilului camei plane ce se prelucrează.

Unghiurile necesare executării, ascuțirii și verificării geometriei părții active a sculei așchietoare, denumite unghiuri constructive se indică în raport cu sistemul de referință constructiv. Unghiurile efective sau funcționale cu care funcționează scula în procesul de așchiere diferă de unghiurile constructive. La stabilirea valorii acestor unghiuri trebuie să se țină seama de influența mișcării principale de așchiere, mișcării de avans și a poziției sculei în raport cu piesa de prelucrat. Modificarea mărimii unghiurilor funcționale ale cuțitului, față de unghiurile constructive, trebuie să fie luată în considerare la proiectarea sculei așchietoare, deoarece în caz contrar se poate ajunge la o reducere radicală a capacității de așchiere a acesteia.

Valoarea unghiului de așezare funcțional α_e , reprezentat în figura 3.17, trebuie să fie pozitivă, în caz contrar suprafața principală de așezare a sculei va freca suprafața prelucrată și în aceste condiții procesul de așchiere nu poate avea loc. Dacă valoarea unghiului de așezare este prea mică, frecarea dintre suprafața principală de așezare a sculei și piesă va fi mare, ceea ce are ca efect o încălzire puternică a sculei și în consecință se va produce o accelerare a fenomenului de uzare. Unghiul de așezare trebuie să fie ales suficient de mare pentru ca așchia să se poată desprinde ușor de pe piesă.

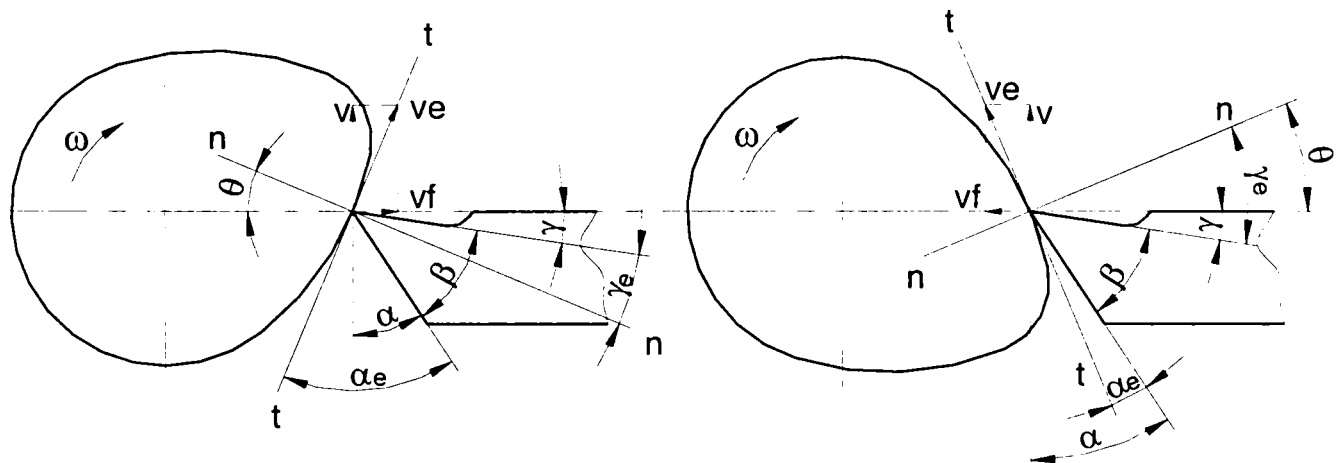


Fig. 3.17 Unghiurile constructive și funcționale ale cuțitului de strung la strunjirea profilului camei

Unghiul de degajare funcțional γ_e , influențează asupra formei așchiei și asupra lucrului mecanic specific consumat la așchiere. Astfel, la un unghi de degajare funcțional mare, așchia se desprinde mai ușor, iar lucrul mecanic specific la așchiere scade.

Din motivele arătate mai sus există tendința de a mări valoarea unghiurilor de așezare și degajare, însă acest lucru conduce la scăderea unghiului de ascuțire β , ceea ce are ca și consecință scăderea rezistenței mecanice și termice a sculei așchietoare și ca urmare uzarea prematură a sculei.

Urmărind figura 3.17, în care sunt reprezentate unghiurile: de așezare, de ascuțire și de degajare, constructive și efective (α , β , γ respectiv α_e , β_e , γ_e) se poate observa cu ușurință că, funcție de zona de profil al camei așchiată, unghiurile funcționale au valori diferite. O astfel de variație a unghiurilor funcționale nu are loc în

Și în acest caz, pentru a optimiza parametri geometrici ai sculei se impune calcularea unghiului de presiune de-a lungul profilului camei, în cât mai multe puncte ale profilului. Valoarea maximă a unghiului de presiune al camei la baza stabilirii unghiurilor constructive de așezare și de degajare. Urmărind tabelul 3.3 se poate constata că valoarea maximă a unghiului de presiune este:

- $32^{\circ}14'35''$ pentru flancul de coborâre, pentru unghiul de rotire al camei de 110° ;
- $32^{\circ}40'16''$ pentru flancul de ridicare, aferent unui unghi de rotire al camei de 15° .

Utilizând relația (3.17) și luând în considerare faptul ca unghiul de așezare funcțional să aibă valoarea minimă de 3° , se determină valoarea unghiului de așezare constructiv secundar de $35^{\circ}14'35''$, care se rotunjește la valoarea de 36° , așa cum se poate observa în figura 3.18, în care este reprezentat cuțitul de strung special proiectat pentru strunjirea profilului camelor de la motoarele tip R 251.

Valoarea unghiului de degajare constructiv, măsurat în planul format de direcțiile vitezei de așchiere și vitezei de avans transversal, se determină cu ajutorul formulelor (3.16) și (3.18). Se poate observa că dacă pentru acest unghi se stabilește valoarea zero, unghiul de degajare funcțional, măsurat în planul de lucru transversal, va avea o variație de la $-32^{\circ}40'16''$ la $32^{\circ}14'35''$, care este valoarea maximă a unghiului de presiune pe flancul opus. Valorile negative ridicate ale unghiului de degajare vor conduce la mărirea componentelor forței de așchiere, având ca și consecință înrăutățirea condițiilor de așchiere. Valorile mari pozitive, ale unghiului de degajare, conduc la micșorarea rezistenței mecanice a vârfului cuțitului. Din aceste considerente este recomandabil ca valoarea unghiului de degajare constructiv, măsurat în planul tăișului, să fie zero așa cum se poate observa în figura 3.18.

Unghiul de degajare măsurat în planul de lucru, format de direcțiile vitezelor de așchiere și avans longitudinal, este parametrul geometric cu influența cea mai mare asupra desfășurării procesului de așchiere, de valoarea acestuia depinde gradul de deformare a stratului așchiat, lucru mecanic necesar formării așchiei, forța de așchiere, cantitatea de căldură și temperatura de așchiere. De aceea, mărirea unghiului de degajare determină în mod hotărâtor durabilitatea sculei așchietoare. Odată cu creșterea unghiului de degajare se ușurează condițiile de formare a așchiei, se micșorează lucrul mecanic de deformare și de frecare pe fața de degajare, se reduc forțele de așchiere, ca urmare crește perioada de durabilitate a sculei. Aceste considerente au stat la baza determinării valorii de 25° a unghiului de degajare constructiv, măsurat în planul de lucru, așa cum se poate observa din figura 3.18.

Valoarea unghiului de așezare constructiv principal, măsurată în planul de lucru s-a ales de 7° ținând cont de regimul de așchiere stabilit, respectiv viteza minimă de așchiere (la strunjirea cercului de bază) de 2,58 m/min și viteza de avans de 0.0184 m/min. Unghiul deviației cinematice, format între direcțiile vitezei efective de așchiere și viteza principală de așchiere, fiind de $0^{\circ}25'$. În această situație unghiul de așezare funcțional principal are valoarea de $6^{\circ}35'$. La stabilirea acestei valori s-a avut în vedere faptul că trebuie determinată o valoare cât mai mică, pentru a nu reduce rezistența mecanică a vârfului cuțitului.

Influența unghiului de atac principal asupra forței principale de așchiere este reprezentată în figura 3.19, unde curba 1 este trasată pentru un cuțit cu raza la vârf de 2 mm, curba 2 pentru un cuțit cu raza la vârf de 0,5 mm, iar curba 3 pentru un cuțit ce nu are rază la vârf.

Se poate observa că, valori mai scăzute ale forței principale de așchiere se înregistrează la strunjirea cu un cuțit de strung care are rază la vârf cât mai mică, s-a

ales valoarea razei de 0,6 mm. Deși, literatura de specialitate indică valori ale razei la vârful a cuțitului executat din oțel rapid de 1...5 mm [55].

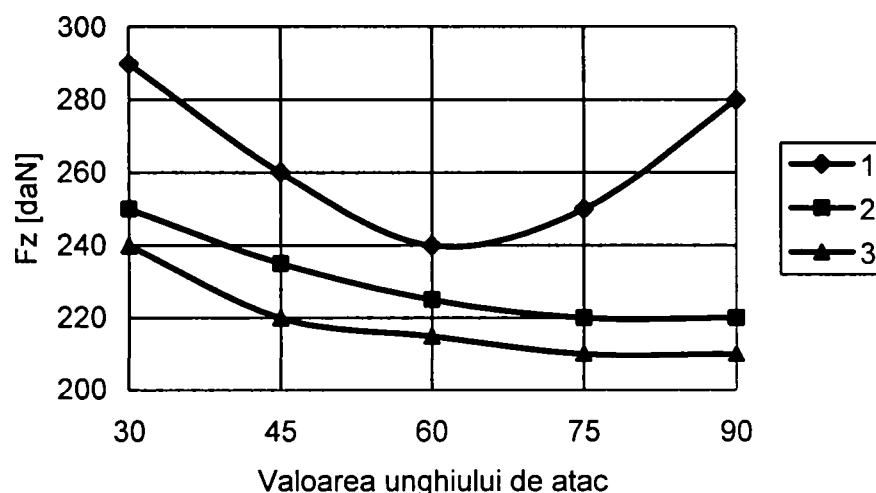


Fig. 3.19 Influența unghiului de atac principal și a razei la vârful a cuțitului, asupra forței principale de așchiere

Apariția unei forțe radiale poate perturba buna desfășurare a procesului de copiere. Pentru a reduce abaterile care apar la copierea prin strunjire a profilului camelor se recomandă alegerea unui unghi de atac de 90°. Astfel, forța radială de așchiere va fi nulă, aceasta neavând influență asupra sistemului de forțe ce acționează în mecanismul de copiere hidraulică.

Alegerea unui unghi de atac de 90° asigură pe de o parte durabilitate ridicată a sculei așchietoare, deoarece, după cum se poate observa și în figura 3.19, componenta principală având valoare mai mică solicitările mecanice asupra vârfului cuțitului se reduc, iar pe de altă parte abaterile de la profilul prescris al camei nu vor crește.

3.1.5 Concluzii

Strunjirea profilului camelor de pe arborii cu came monobloc este posibilă de realizat prin adaptarea unui strung normal dotat cu sistem hidraulic de copiere. Precizia profilului camei, generat prin această metodă, este puternic influențată de parametrii regimului de așchiere. Prin optimizarea acestora se pot obține came al căror profil să corespundă cerințelor tehnologice impuse de operațiile ulterioare de prelucrare a camei.

În cazul general al strunjirii, este parcursă următoarea succesiune pentru stabilirea parametrilor regimului de așchiere:

- se stabilește adâncimea maximă de așchiere, admisibilă tehnologic;
- se stabilește avansul maxim, admisibil tehnologic;
- cunoscând perioada de durabilitate a sculei, se determină viteza de așchiere admisibilă.

Strunjirea profilului camei prin copiere prezintă particularități care nu permit parcurgerea succesiunii prezentate mai înainte. Profilul camei care urmează a fi prelucrat are o mare influență asupra stabilirii vitezei de așchiere, reglată la mașina-unealtă prin intermediul turației. Alegerea întâmplătoare a turației poate conduce la situația în care viteza de deplasare a saniei portcuțit depășește valoarea maximă, impusă de fabricant. În acest caz abaterile de la profil pot ajunge la valori atât de mari,

Scula cu care se efectuează operația de copiere a profilului camei nu este o sculă uzuală. Aceasta trebuie să aibă parametrii geometrici ai părții active special proiectați, aceștia se calculează funcție de parametrii profilul camei care urmează a fi prelucrată și de regimul de așchiere.

La strunjirea profilului camei, cel mai important parametru al părții active este unghiul de așezare constructiv secundar, măsurat în planul format de către direcțiile vitezelor de așchiere principală și avans transversal, numit și avans de urmărire. Profilul camei care se strunjește are influența cea mai mare asupra acestui unghi. Funcție de unghiul de presiune, calculat pentru turația de rotire a camei reglată la mașina unealtă, se calculează unghiul de așezare constructiv secundar, astfel încât acest unghi funcțional să aibă obligatoriu valoare pozitivă, fără îndeplinirea acestei condiții procesul de așchiere nu se poate desfășura. Valoarea cea mai mică a unghiului de așezare secundar funcțional este înregistrată la strunjirea flancului de coborâre (închiderea supapei). Unghiul de presiune maxim determinat pe zona profil aferentă coborârii tachelului va sta la baza determinării unghiului de așezare secundar constructiv.

Unghiul de așezare constructiv principal, care este măsurat în planul format de direcțiile vitezelor de așchiere principală și avans longitudinal, este determinat în funcție de valorile celor două viteze, astfel încât unghiul funcțional să aibă valoare pozitivă. Valoarea adoptată pentru acest unghi trebuie să fie cât mai mică, pentru a nu reduce rezistența mecanică a vârfului cuțitului.

Valoarea unghiului de degajare trebuie, de asemenea, să fie determinată în două plane. În planul format de direcțiile vitezelor de așchiere principală și viteza de avans transversal, unghiul de degajare funcțional are variații de la + valoarea maximă a unghiului de presiune pentru zona de coborâre a tachelului, la – valoarea maximă a unghiului de presiune pentru flancul de ridicare a tachelului. Plaja de variație a acestui unghi fiind mare, se recomandă adoptarea valorii de 0° pentru unghiul de degajare constructiv. În planul format de direcțiile vitezelor de așchiere principală și avans longitudinal, unghiul deviației cinematice fiind constant și cu valori mici, se adoptă o valoare cât mai mare a unghiului pentru a reduce valoarea forțelor de așchiere.

Pentru unghiul de atac principal este recomandată valoarea de 90° , pentru a evita apariția componentei radiale a forței de așchiere. Astfel se evită influența acestei componente asupra sistemului de forțe ce acționează asupra mecanismului de copiere.

Măsurarea coordonatelor polare ale profilului camelor nu poate fi făcută cu ajutorul unor verificatoare universale, pentru realizarea acestora fiind necesară proiectarea și executarea unei instalații speciale.

3.2. *Optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea profilului prin frezare*

Operațiile de frezare se clasifică după tipul frezei utilizate. La frezarea profilului camelor se utilizează freze cilindrice, cu coadă sau alezaj, în funcție de diametrul acesteia. Optimizarea regimului de așchiere la această operație constă în determinarea celei mai avantajoase combinații ale valorilor adâncimii de așchiere, avansului și vitezei de așchiere, care să asigure un timp minim de execuție a operației sau un cost minim al prelucrării, avându-se în vedere totodată utilizarea optimă a proprietăților așchietoare ale frezei și a posibilităților de exploatare a mașinii-unelte[101].

Parametrii procesului de așchiere prin frezare sunt:

- adâncimea de așchiere t , definită ca fiind mărimea tăișului principal aflat în contact cu piesa de prelucrat, măsurată perpendicular pe planul de lucru;

- lungimea de contact B , definită ca fiind mărimea tăişului principal aflată în contact cu piesa de prelucrat, măsurată într-un plan perpendicular pe planul de lucru;
- turația frezei n ;
- diametrul exterior al părții active a frezei D ;
- numărul de dinți ai frezei z .

Planul de lucru este planul determinat de direcția efectivă de așchiere și de direcția de avans. Lungimea de contact la frezarea profilului camei este egală cu lățimea acesteia.

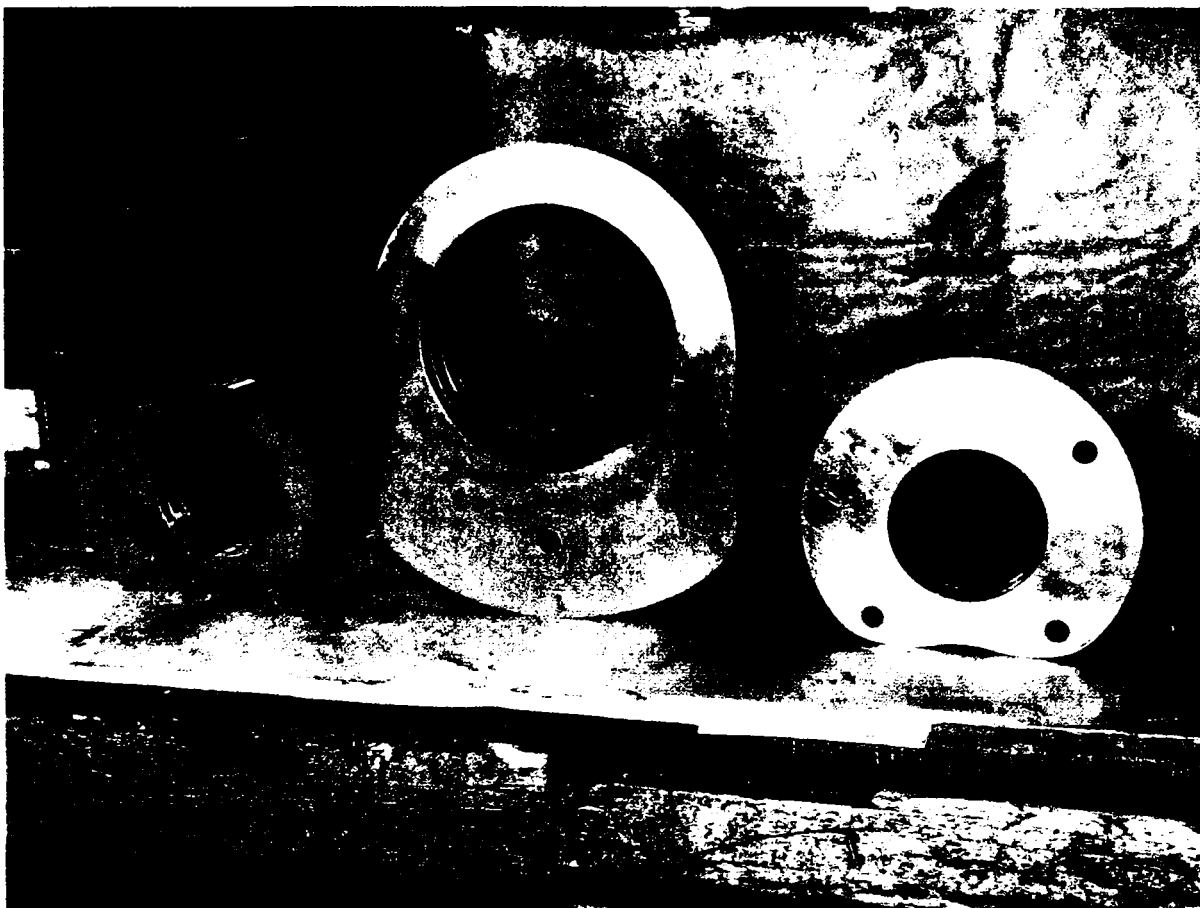


Fig. 3.21 Came de la motoarele Diesel tip MAN Burmeister&Wein L 42 și S70

Pentru executarea camelor de la motoarele Diesel lente de mare putere (figura 3.21), ținând cont de cerințele documentației de execuție și de seria mică de fabricație, s-a ales ca modalitate de elaborare a semifabricatului o placă forjată liber. Dimensiunile acesteia au fost stabilite astfel încât, după tăierea cu flacără oxiacetilenică, să rezulte trei semifabricate. Înaintea tăierii, placa forjată este prelucrată pe ambele suprafețe, în vederea efectuării controlului nedistructiv cu ultrasunete (așa cum s-a arătat în capitolul 2). Tăierea semifabricatelor s-a efectuat pe o mașină de tăiat cu comandă numerică de tip OMNIMAT, fabricată de firma MESSER. Adaosul de prelucrare total, pe contur, este de 7 mm, din care 5 mm sunt îndepărtați la frezare. Pentru operația de frezare, semifabricatul trebuie să aibă prelucrat, cu adaos de finisare, alezajul central și cel de știft. Prin intermediul acestora, cu ajutorul unui dispozitiv, semifabricatul din care se realizează cama este fixat pe masa mașinii de frezat.

Pentru a beneficia de avantajele prezentate la subcapitolul 2.3.2.2, ca procedeu de prelucrare primară a profilului camelor s-a ales frezarea pe o mașină unealtă cu comandă numerică.

3.2.1 Prezentarea instalației experimentale

Mașina de frezat utilizată la prelucrarea preliminară a profilului camelor de la motoarele MAN Burmeister&Wein este reprezentată în figura 3.22. Aceasta este de tip FV 500 fabricată la Înfrățirea Oradea, fiind dotată cu comandă numerică cu calculator, tipul NUMERIK CNC H-646. Principalii parametrii constructivi ai mașinii sunt redați în tabelul 3.5.



Fig. 3.22 Mașina de frezat verticală tip FV 500, cu comandă numerică cu calculator CNC H-646, utilizată la frezarea profilului camelor de la motoarele Diesel MAN Burmeister&Wein.

La această mașină de frezat scula este fixată în arborele principal și execută mișcarea principală de așchiere, de rotație în jurul propriei axe, cu turația n . Arborele principal este amplasat în interiorul capului de frezat, care execută mișcarea de avans vertical, pe ghidajele montantului. În cazul prelucrării profilului camei, mișcarea de avans vertical este o mișcare de poziționare a sculei în raport cu cama de prelucrat. Masa mașinii execută mișcările de avans longitudinal și transversal, prin intermediul săniilor pe care este amplasată. Prin intermediul programului de prelucrare cele două mișcări de avans sunt corelate, cama fiind adusă în contact cu scula, și prelucrată la coordonatele înscrise în program. Cama este fixată pe masa mașinii prin intermediul unui dispozitiv, așa cum se poate observa și în figura 3.23.

Tabel 3.5

Denumirea parametrului	Valoarea
Dimensiunile de gabarit ale mesei [mm x mm]	500 x 1800
Sarcina maximă pe masă [kg]	1200
Cursa longitudinală (axa X) [mm]	1000
Cursa transversală (axa Y) [mm]	500
Cursa pe verticală a capului de frezat (axa Z) [mm]	500
Gama avansurilor (continuu) [mm/min]	6...2000
Avansul rapid [mm/min]	6000
Gama rotațiilor (continuu) [rot/min]	28...2240
Conul arborelui principal (STAS 7381-73)	50
Momentul de torsiune maxim [daNxm]	200
Puterea motorului electric al acționării princip. [kW]	13

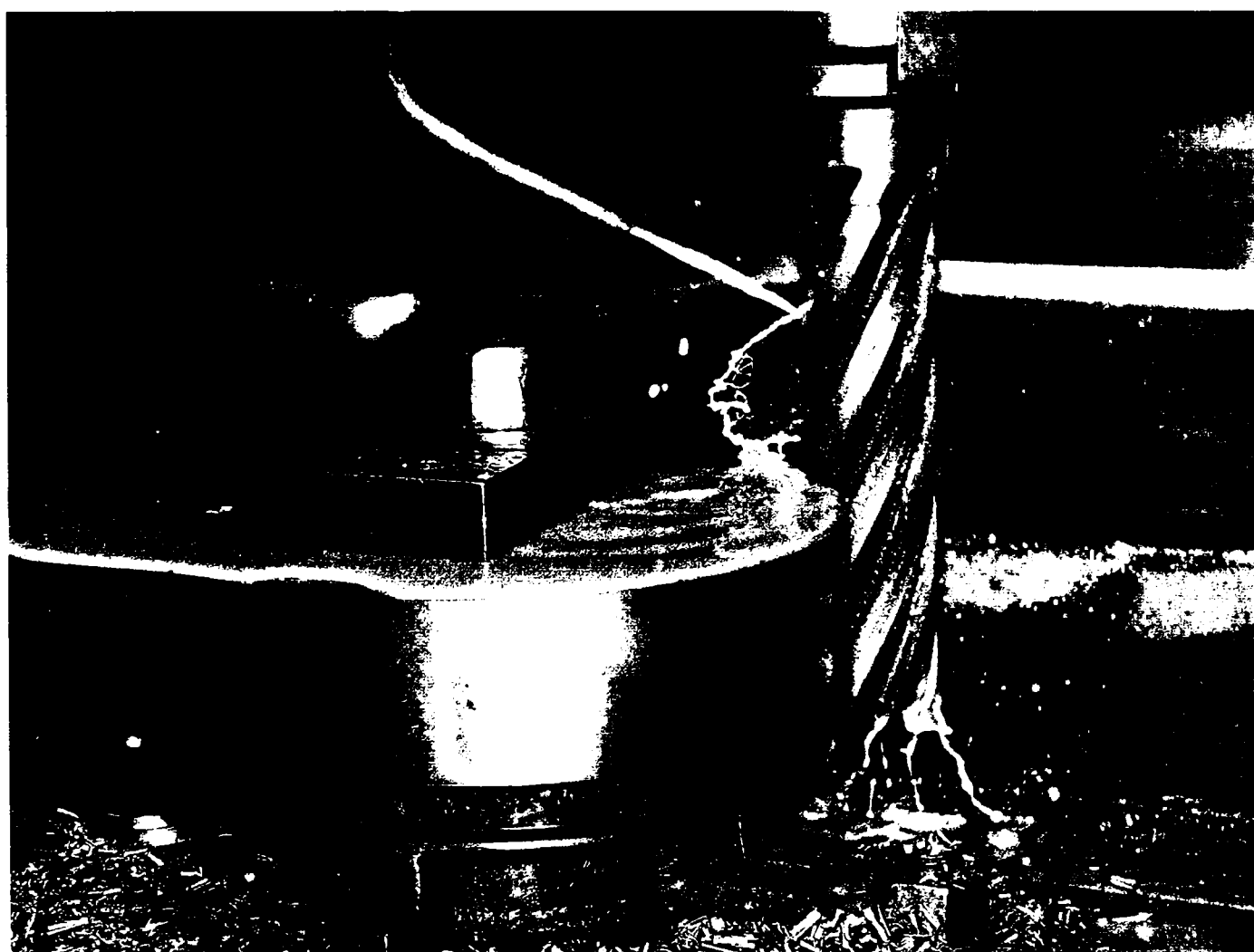


Fig. 3.23 Prelucrarea prin frezare a profilului camei de evacuare de la motorul Burmeister&Wein tip L42 MC

Dispozitivul este astfel conceput, încât cama este centrată prin intermediul unui cep pe alezajului central și orientată cu ajutorul unui știft, care intră în alezajul practicat în acest scop în camă. Pentru fixarea pe masa mașinii dispozitivul este prevăzut cu o pană, care îl centreează pe canalul T al mesei astfel încât, axa centrelor cepului și știftului să fie suprapusă cu axa X a mașinii de frezat. Cu ajutorul unui comparator cu

cadran, axa arborelui principal este poziționată în centrul cepului de centrare. Coordonatele mașinii, corespunzătoare acestei poziții, vor fi introduse în memoria mașinii ca „punct zero” (originea sistemului de coordonate al piesei) pentru programul de prelucrare.

Pentru întocmirea programului de prelucrare se folosesc coordonatele carteziane ale profilului real al camei. Acestea se determină prin transformarea coordonatelor polare ale profilului real, obținute cu ajutorul programului prezentat la subcapitolul 3.1.2.

Utilizarea coordonatelor carteziane ale profilului real al camei la programarea mașinii unelte este posibilă datorită facilităților comenzii numerice. Funcțiile principale G41 și G42 permit parcurgerea de către centrul sculei, a unei traiectorii echidistante față de traiectoria programată, mărimea echidistanței fiind dată de raza frezei utilizată la prelucrare. În funcție de coordonatele reale ale profilului și de raza frezei, care este introdusă în memoria comenzii numerice, calculatorul acesteia calculează coordonatele traiectoriei centrului frezei astfel încât înfășurătoarea pozițiilor succesive ale frezei să fie traiectoria programată.

Sunt necesare două funcții de echidistanță deoarece, în funcție de metoda de frezare (în sensul avansului sau contra avansului), freza poate fi poziționată la stânga respectiv dreapta profilului programat.

Pentru măsurarea curselor tachetului și determinarea abaterilor de la profilul prescris al camei, s-a proiectat și executat un dispozitiv special.

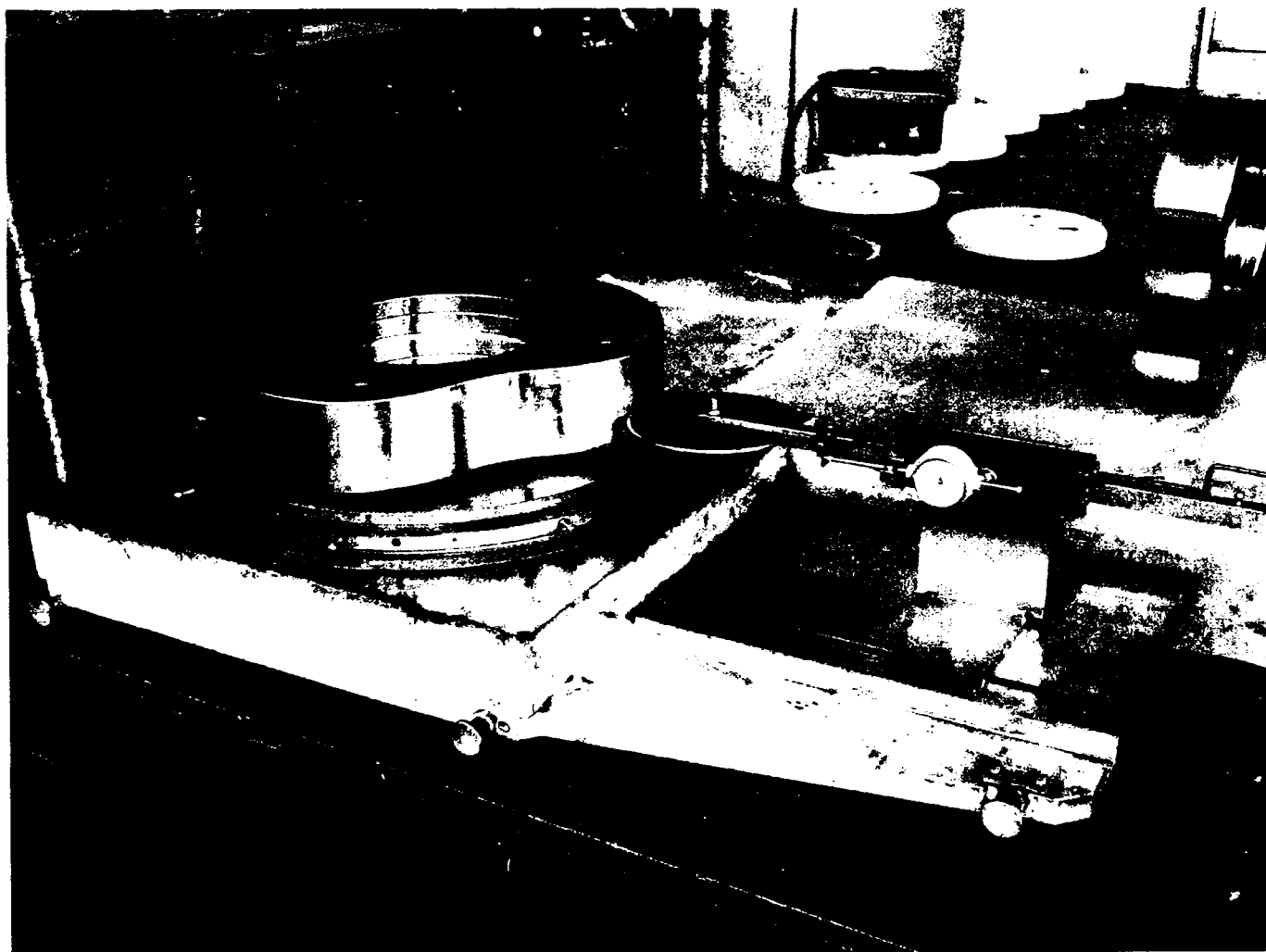


Fig. 3.24 Dispozitivul utilizat pentru măsurarea curselor tachetului la camele individuale de la motoarele Diesel de puteri mari, tip Burmeister&Wein

Dispozitivul, prezentat în figura 3.24, are o placă de bază prevăzută cu o masă rotativă. Pe diametrul exterior al acesteia este montat un inel gradat, cu ajutorul căruia cama de măsurat poate să fie poziționată unghiular. Cama este centrată pe masa rotativă prin intermediul unei bucșe de centrare, diametrul exterior al acesteia formând cu diametrul interior al alezajului central al camei un ajustaj alunecător. Placa de bază are ghidaje pe care poate culisa suportul ansamblului de translație a rolei de măsurare, așa cum se poate observa în figura 3.25. Întregul ansamblu este astfel conceput și realizat încât, centrul mesei rotative să fie pe direcția de translație a rolei de măsurare, iar direcția de translație să fie paralelă cu ghidajele din placa de bază.

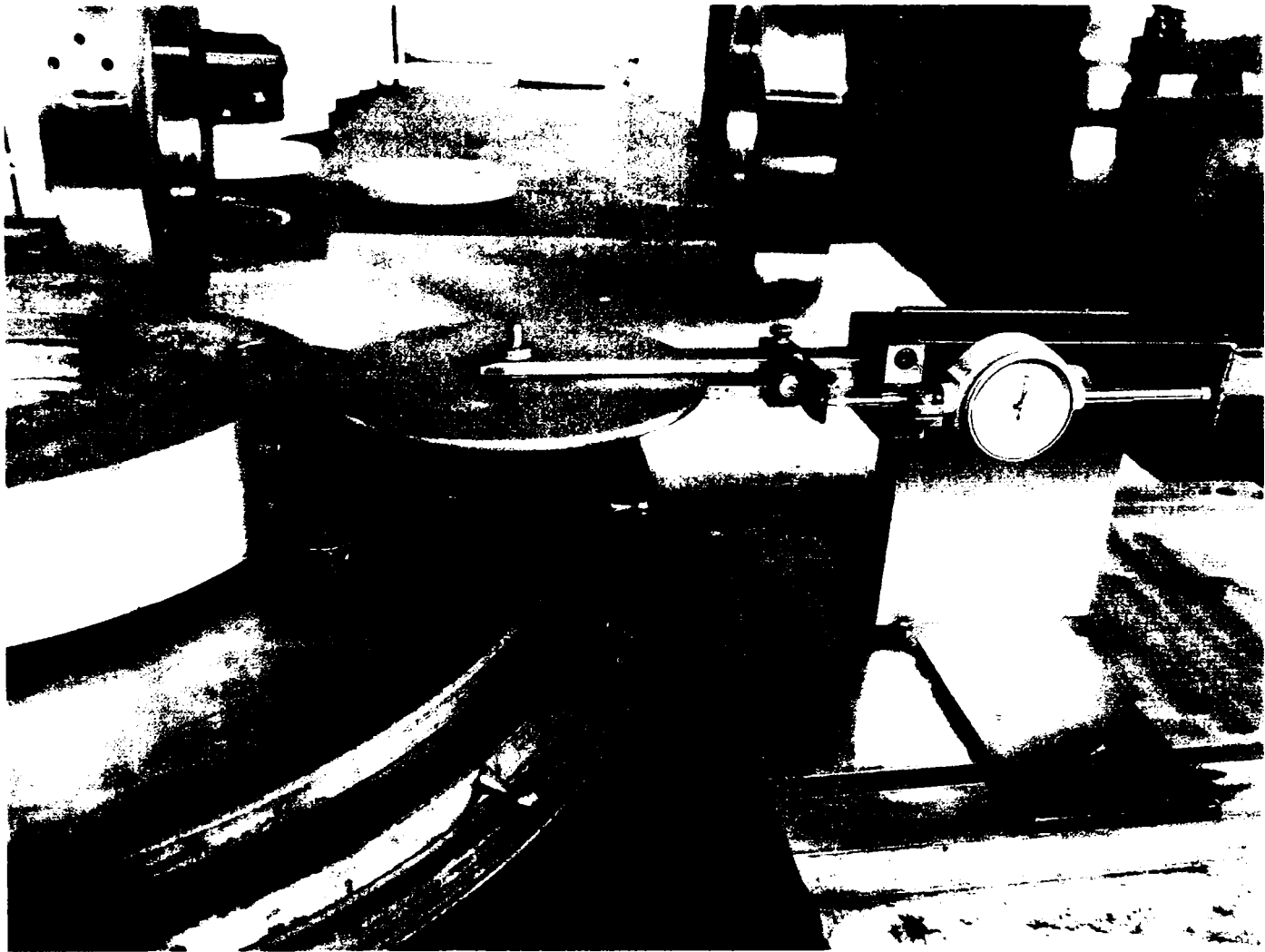


Fig. 3.25 Ansamblul de translație și măsurare a cursei rolei

În suportul rolei de măsurare pot fi montate role care au diferite diametre. Diametrul rolei trebuie să fie egal cu diametrul rolei tachetului, acesta diferind în funcție de tipul motorului. Rola de măsurare este centrată în axa suportului prin intermediul unui șurub, pe a cărui tijă a fost prelucrată o treaptă cilindrică.

Comparatorul cu cadran este montat pe piesa de ghidare a ansamblului de translație, aceasta fiind solidară cu suportul care culisează pe placa de bază. Palpatorul comparatorului este în contact cu suportul mobil al rolei prin intermediul unei piese de legătură. Aceasta poate culisa pe suportul rolei de măsurare.

Prin intermediul reglajelor instalației de verificat profilul camelor individuale, de la motoarele Diesel de mare putere tip Burmeister&Wein, se poate acoperi întreaga gamă

dimensională, respectiv gabarit camă, cursă tachet și diametru rolă (vezi subcapitolul 1.3.1).

În cele ce urmează, se va prezenta calculul pentru optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea primară prin frezare a profilului camei de injecție de la motoarele MAN Burmeister&Wein, tip L35 MC. Pentru celelalte profile ale camelor calculele de optimizare sunt parcurse în același mod. Abaterile de la profilul prescris obținute în urma prelucrării cu regimurile de așchiere calculate, se mențin la același nivel.

3.2.2 Optimizarea diametrului frezei

Prelucrarea prin frezare a profilului camelor se efectuează cu freze cilindrice elicoidale. La frezarea cu freze cilindrice fiecare dinte degajează așchii a căror grosime variază între zero și o grosime maximă. Astfel, în cazul frezării în sens contrar avansului, așchia se formează de la o grosime nulă și devine maximă la ieșirea dintelui din materialul camei. Invers variază grosimea așchiei la frezarea în sensul avansului.

Fiind o operație de prelucrare preliminară a profilului, nu se urmărește obținerea unei precizii dimensionale ridicate. Abaterile dimensionale sunt considerate acceptabile dacă se încadrează în clasa de precizie 9 conform ISO.

Mașina-unealtă FV 500 este prevăzută cu sistem de eliminare automată a jocului din mecanismul șurub-piuliță, care face parte din lanțul cinematic de avans al mașinii, fiind recomandată frezarea profilului camei prin metoda de frezare în sensul avansului. Această metodă prezintă următoarele avantaje:

- componentele forței de așchiere la frezare ajută la mișcarea mesei mașinii de frezat, față de frezarea contra avansului când componentele forței de așchiere se opun acestei mișcări;
- componenta radială a forței de așchiere apasă cama pe dispozitivul de fixare, în timp ce la frezarea contra avansului există tendința de desprindere a camei de pe dispozitiv;
- datorită diminuării considerabile a fenomenului de ecruisare a stratului așchiat, durabilitatea sculei se majorează cu cca. 20%, față de frezarea contra avansului.

În general, la stabilirea diametrului frezei este recomandat să se adopte o valoare cât mai mare posibilă. Având un diametru mai mare, este posibil ca freza să aibă mai mulți dinți, ceea ce permite realizarea unei viteze de avans mai mare față de o freză cu mai puțini dinți, la valori egale ale avansului pe dinte. De asemenea durabilitatea frezei cu diametru mai mare este mai ridicată, reducându-se astfel costurile cu reascuțirea și implicit costul operației.

În cazul particular al frezării profilului camei, principala restricție impusă diametrului frezei este ca raza acesteia să fie mai mică decât raza de curbură minimă a profilului concav. Pentru stabilirea diametrului frezei este necesară efectuarea analizei cinematice a mecanismului cu camă.

Utilizând programele menționate la subcapitolul 3.1.2, prin introducerea coordonatelor profilului camei de injecție de la motorul tip L35 MC și efectuarea calculelor, se poate observa (vezi tabelul 3.6) că profilul prezintă zonă concavă, iar valoarea minimă a razei de curbură este de 63,806 mm.

Tabelul 3.6

Unghi de rotire φ [°]	Raza polară ρ [mm]	Cursa s [mm]	Viteza v [m/s]	Accelerația a [m/s ²]	Raza de curbură [mm]
0	140	0	0,134	97,766	-88,208
1	140,106	0,106	0,270	200,143	-63,806
2	140,429	0,429	0,551	210,289	-65,126
3	140,98	0,98	0,840	213,978	-69,091
4	141,763	1,763	1,091	153,105	-91,122
5	142,712	2,712	1,227	46,116	-3439,653
6	143,711	3,711	1,259	0,922	89,757
7	144,711	4,711	1,260	0,000	87,955
8	145,711	5,711	1,259	-1,845	83,674
9	146,709	6,709	1,258	0,922	92,607
10	147,708	7,708	1,257	-1,845	85,467
11	148,705	8,705	1,256	0,000	91,691
12	149,702	9,702	1,256	-0,922	89,894
13	150,698	10,698	1,255	0,000	93,567
14	151,694	11,694	1,254	-1,845	89,072
15	152,688	12,688	1,253	0,922	98,357
16	153,683	13,683	1,252	-1,845	90,885
17	154,676	14,676	1,251	0,000	97,340
18	155,669	15,669	1,251	0,000	98,283
19	156,662	16,662	1,251	-0,922	96,368
20	157,654	17,654	1,249	-0,922	97,299
21	158,645	18,645	1,249	0,000	101,131
22	159,636	19,636	1,249	0,000	102,079
23	160,627	20,627	1,247	-1,845	97,278
24	161,616	21,616	1,246	0,000	103,990
25	162,605	22,605	1,241	-7,379	84,035
26	163,586	23,586	1,225	-16,602	65,334
27	164,549	24,549	1,195	-26,747	49,788
28	165,483	25,483	1,152	-36,893	37,572
29	166,377	26,377	1,097	-42,427	31,615
30	167,225	27,225	1,039	-42,427	30,959
31	168,027	28,027	0,982	-42,427	30,338
32	168,783	28,783	0,924	-41,504	30,633
33	169,494	29,494	0,868	-41,504	30,107
34	170,16	30,16	0,811	-40,582	30,528
35	170,782	30,782	0,755	-41,504	29,172
36	171,359	31,359	0,699	-40,582	29,668
37	171,892	31,892	0,644	-39,660	30,245
38	172,382	32,382	0,590	-40,582	28,963
39	172,828	32,828	0,535	-38,737	30,596
40	173,232	33,232	0,481	-40,582	28,390
41	173,592	33,592	0,427	-38,737	30,097
42	173,91	33,91	0,374	-38,737	29,899

43	174,186	34,186	0,321	-38,737	29,728
44	174,42	34,42	0,268	-38,737	29,582
45	174,612	34,612	0,216	-37,815	30,493
46	174,763	34,763	0,167	-34,126	34,832
47	174,877	34,877	0,127	-23,980	50,163
48	174,965	34,965	0,101	-13,835	72,903
49	175,038	35,038	0,089	-4,612	105,659
50	175,106	35,106	0,086	0,000	129,978
51	175,174	35,174	0,085	-0,922	124,593
52	175,241	35,241	0,084	0,000	130,117
53	175,308	35,308	0,084	-0,922	124,730
54	175,374	35,374	0,083	0,000	130,254
55	175,44	35,44	0,083	-0,922	124,865
56	175,505	35,505	0,081	-0,922	124,933
57	175,569	35,569	0,081	0,000	130,456
58	175,633	35,633	0,081	0,000	130,520
59	175,697	35,697	0,080	-0,922	125,128
60	175,76	35,76	0,079	-0,922	125,194
61	175,822	35,822	0,078	0,000	130,716
62	175,884	35,884	0,078	0,000	130,778
63	175,946	35,946	0,077	-0,922	125,383
64	176,007	36,007	0,076	-0,922	125,447
65	176,067	36,067	0,076	0,000	130,968
66	176,127	36,127	0,075	-0,922	125,569
67	176,186	36,186	0,074	0,000	131,090
68	176,245	36,245	0,074	-0,922	125,690
69	176,303	36,303	0,073	0,000	131,210
70	176,361	36,361	0,072	-0,922	125,809
71	176,418	36,418	0,072	0,000	131,329
72	176,475	36,475	0,071	-0,922	125,925
73	176,531	36,531	0,071	0,000	131,445
74	176,587	36,587	0,070	-0,922	126,040
75	176,642	36,642	0,069	0,000	131,559
76	176,697	36,697	0,069	-0,922	126,152
77	176,751	36,751	0,067	-0,922	126,209
78	176,804	36,804	0,067	0,000	131,727
79	176,857	36,857	0,067	0,000	131,780
80	176,91	36,91	0,066	-0,922	126,370
81	176,962	36,962	0,065	-0,922	126,424
82	177,013	37,013	0,064	0,000	131,942
83	177,064	37,064	0,064	0,000	131,993
84	177,115	37,115	0,063	-1,845	121,442
85	177,164	37,164	0,062	0,922	137,922
86	177,214	37,214	0,062	-0,922	126,681
87	177,263	37,263	0,061	-0,922	126,732
88	177,311	37,311	0,060	0,000	132,248
89	177,359	37,359	0,060	-0,922	126,830

90	177,406	37,406	0,059	0,000	132,346
91	177,453	37,453	0,059	-0,922	126,926
92	177,499	37,499	0,058	0,000	132,441
93	177,545	37,545	0,057	-0,922	127,020
94	177,59	37,59	0,056	-0,922	127,068
95	177,634	37,634	0,056	0,922	138,407
96	177,679	37,679	0,055	-1,845	122,016
97	177,722	37,722	0,054	0,000	132,671
98	177,765	37,765	0,054	0,000	132,714
99	177,808	37,808	0,054	-0,922	127,289
100	177,85	37,85	0,052	-0,922	127,333
101	177,891	37,891	0,052	0,000	132,845
102	177,932	37,932	0,052	0,000	132,886
103	177,973	37,973	0,051	-0,922	127,458
104	178,013	38,013	0,050	-0,922	127,500
105	178,052	38,052	0,049	0,000	133,011
106	178,091	38,091	0,049	-0,922	127,580
107	178,129	38,129	0,048	0,000	133,090
108	178,167	38,167	0,048	0,000	133,128
109	178,205	38,205	0,047	-1,845	122,551
110	178,241	38,241	0,046	0,922	139,034
111	178,278	38,278	0,045	-1,845	122,625
112	178,313	38,313	0,045	0,922	139,109
113	178,349	38,349	0,044	-1,845	122,697
114	178,383	38,383	0,043	0,922	139,181
115	178,418	38,418	0,043	-1,845	122,767
116	178,451	38,451	0,042	0,000	133,421
117	178,484	38,484	0,042	0,000	133,454
118	178,517	38,517	0,041	-0,922	128,015
119	178,549	38,549	0,040	0,000	133,521
120	178,581	38,581	0,040	-0,922	128,081
121	178,612	38,612	0,038	-0,922	128,113
122	178,642	38,642	0,038	0,000	133,618
123	178,672	38,672	0,038	0,000	133,648
124	178,702	38,702	0,037	-0,922	128,204
125	178,731	38,731	0,036	-0,922	128,235
126	178,759	38,759	0,035	0,000	133,738
127	178,787	38,787	0,035	-0,922	128,292
128	178,814	38,814	0,034	0,000	133,794
129	178,841	38,841	0,034	0,000	133,821
130	178,868	38,868	0,033	-1,845	123,225
131	178,893	38,893	0,032	0,922	139,707
132	178,919	38,919	0,032	-1,845	123,277
133	178,943	38,943	0,031	0,922	139,759
134	178,968	38,968	0,030	-1,845	123,327
135	178,991	38,991	0,030	0,922	139,808
136	179,015	39,015	0,029	-1,845	123,374

137	179,037	39,037	0,028	0,922	139,856
138	179,06	39,06	0,028	-1,845	123,420
139	179,081	39,081	0,026	0,000	134,069
140	179,102	39,102	0,026	0,000	134,090
141	179,123	39,123	0,026	-0,922	128,635
142	179,143	39,143	0,025	0,000	134,132
143	179,163	39,163	0,025	-0,922	128,676
144	179,182	39,182	0,023	-0,922	128,696
145	179,2	39,2	0,023	0,000	134,191
146	179,218	39,218	0,022	-0,922	128,733
147	179,235	39,235	0,021	0,000	134,227
148	179,252	39,252	0,021	0,000	134,244
149	179,269	39,269	0,021	-0,922	128,785
150	179,285	39,285	0,020	-0,922	128,801
151	179,3	39,3	0,019	0,000	134,294
152	179,315	39,315	0,018	-0,922	128,832
153	179,329	39,329	0,018	0,000	134,324
154	179,343	39,343	0,017	-0,922	128,861
155	179,356	39,356	0,016	0,000	134,351
156	179,369	39,369	0,016	-0,922	128,887
157	179,381	39,381	0,015	0,000	134,377
158	179,393	39,393	0,014	-0,922	128,912
159	179,404	39,404	0,014	0,000	134,401
160	179,415	39,415	0,013	-0,922	128,934
161	179,425	39,425	0,013	0,000	134,422
162	179,435	39,435	0,012	-0,922	128,955
163	179,444	39,444	0,011	0,000	134,442
164	179,453	39,453	0,011	-0,922	128,973
165	179,461	39,461	0,009	-0,922	128,981
166	179,468	39,468	0,009	0,000	134,467
167	179,475	39,475	0,009	0,000	134,474
168	179,482	39,482	0,008	-0,922	129,003
169	179,488	39,488	0,007	-0,922	129,009
170	179,493	39,493	0,006	0,000	134,492
171	179,498	39,498	0,006	0,000	134,497
172	179,503	39,503	0,006	-0,922	129,024
173	179,507	39,507	0,004	-0,922	129,028
174	179,51	39,51	0,004	0,000	134,510
175	179,513	39,513	0,003	-0,922	129,035
176	179,515	39,515	0,003	0,000	134,515
177	179,517	39,517	0,002	-0,922	129,039
178	179,518	39,518	0,001	0,000	134,518
179	179,519	39,519	0,001	-0,922	129,041
180	179,519	39,519	0,000	0,000	134,519
181	179,519	39,519	-0,001	-0,922	129,041
182	179,518	39,518	-0,001	0,000	134,518
183	179,517	39,517	-0,002	-0,922	129,039

184	179,515	39,515	-0,003	0,000	134,515
185	179,513	39,513	-0,003	-0,922	129,035
186	179,51	39,51	-0,004	0,000	134,510
187	179,507	39,507	-0,004	-0,922	129,028
188	179,503	39,503	-0,006	-0,922	129,024
189	179,498	39,498	-0,006	0,000	134,497
190	179,493	39,493	-0,006	0,000	134,492
191	179,488	39,488	-0,007	-0,922	129,009
192	179,482	39,482	-0,008	-0,922	129,003
193	179,475	39,475	-0,009	0,000	134,474
194	179,468	39,468	-0,009	0,000	134,467
195	179,461	39,461	-0,009	-0,922	128,981
196	179,453	39,453	-0,011	-0,922	128,973
197	179,444	39,444	-0,011	0,000	134,442
198	179,435	39,435	-0,012	-0,922	128,955
199	179,425	39,425	-0,013	0,000	134,422
200	179,415	39,415	-0,013	-0,922	128,934
201	179,404	39,404	-0,014	0,000	134,401
202	179,393	39,393	-0,014	-0,922	128,912
203	179,381	39,381	-0,015	0,000	134,377
204	179,369	39,369	-0,016	-0,922	128,887
205	179,356	39,356	-0,016	0,000	134,351
206	179,343	39,343	-0,017	-0,922	128,861
207	179,329	39,329	-0,018	0,000	134,324
208	179,315	39,315	-0,018	-0,922	128,832
209	179,3	39,3	-0,019	0,000	134,294
210	179,285	39,285	-0,020	-0,922	128,801
211	179,269	39,269	-0,021	-0,922	128,785
212	179,252	39,252	-0,021	0,000	134,244
213	179,235	39,235	-0,021	0,000	134,227
214	179,218	39,218	-0,022	-0,922	128,733
215	179,2	39,2	-0,023	0,000	134,191
216	179,182	39,182	-0,023	-0,922	128,696
217	179,163	39,163	-0,025	-0,922	128,676
218	179,143	39,143	-0,025	0,000	134,132
219	179,123	39,123	-0,026	-0,922	128,635
220	179,102	39,102	-0,026	0,000	134,090
221	179,081	39,081	-0,026	0,000	134,069
222	179,06	39,06	-0,028	-1,845	123,420
223	179,037	39,037	-0,028	0,922	139,856
224	179,015	39,015	-0,029	-1,845	123,374
225	178,991	38,991	-0,030	0,922	139,808
226	178,968	38,968	-0,030	-1,845	123,327
227	178,943	38,943	-0,031	0,922	139,759
228	178,919	38,919	-0,032	-1,845	123,277
229	178,893	38,893	-0,032	0,922	139,707
230	178,868	38,868	-0,033	-1,845	123,225

231	178,841	38,841	-0,034	0,000	133,821
232	178,814	38,814	-0,034	0,000	133,794
233	178,787	38,787	-0,035	-0,922	128,292
234	178,759	38,759	-0,035	0,000	133,738
235	178,731	38,731	-0,036	-0,922	128,235
236	178,702	38,702	-0,037	-0,922	128,204
237	178,672	38,672	-0,038	0,000	133,648
238	178,642	38,642	-0,038	0,000	133,618
239	178,612	38,612	-0,038	-0,922	128,113
240	178,581	38,581	-0,040	-0,922	128,081
241	178,549	38,549	-0,040	0,000	133,521
242	178,517	38,517	-0,041	-0,922	128,015
243	178,484	38,484	-0,042	0,000	133,454
244	178,451	38,451	-0,042	0,000	133,421
245	178,418	38,418	-0,043	-1,845	122,767
246	178,383	38,383	-0,043	0,922	139,181
247	178,349	38,349	-0,044	-1,845	122,697
248	178,313	38,313	-0,045	0,922	139,109
249	178,278	38,278	-0,045	-1,845	122,625
250	178,241	38,241	-0,046	0,922	139,034
251	178,205	38,205	-0,047	-1,845	122,551
252	178,167	38,167	-0,048	0,000	133,128
253	178,129	38,129	-0,048	0,000	133,090
254	178,091	38,091	-0,049	-0,922	127,580
255	178,052	38,052	-0,049	0,000	133,011
256	178,013	38,013	-0,050	-0,922	127,500
257	177,973	37,973	-0,051	-0,922	127,458
258	177,932	37,932	-0,052	0,000	132,886
259	177,891	37,891	-0,052	0,000	132,845
260	177,85	37,85	-0,052	-0,922	127,333
261	177,808	37,808	-0,054	-0,922	127,289
262	177,765	37,765	-0,054	0,000	132,714
263	177,722	37,722	-0,054	0,000	132,671
264	177,679	37,679	-0,055	-1,845	122,016
265	177,634	37,634	-0,056	0,922	138,407
266	177,59	37,59	-0,056	-0,922	127,068
267	177,545	37,545	-0,057	-0,922	127,020
268	177,499	37,499	-0,058	0,000	132,441
269	177,453	37,453	-0,059	-0,922	126,926
270	177,406	37,406	-0,059	0,000	132,346
271	177,359	37,359	-0,060	-0,922	126,830
272	177,311	37,311	-0,060	0,000	132,248
273	177,263	37,263	-0,061	-0,922	126,732
274	177,214	37,214	-0,062	-0,922	126,681
275	177,164	37,164	-0,062	0,922	137,922
276	177,115	37,115	-0,063	-1,845	121,442
277	177,064	37,064	-0,064	0,000	131,993

278	177,013	37,013	-0,064	0,000	131,942
279	176,962	36,962	-0,065	-0,922	126,424
280	176,91	36,91	-0,066	-0,922	126,370
281	176,857	36,857	-0,067	0,000	131,780
282	176,804	36,804	-0,067	0,000	131,727
283	176,751	36,751	-0,067	-0,922	126,209
284	176,697	36,697	-0,069	-0,922	126,152
285	176,642	36,642	-0,069	0,000	131,559
286	176,587	36,587	-0,070	-0,922	126,040
287	176,531	36,531	-0,071	0,000	131,445
288	176,475	36,475	-0,071	-0,922	125,925
289	176,418	36,418	-0,072	0,000	131,329
290	176,361	36,361	-0,072	-0,922	125,809
291	176,303	36,303	-0,073	0,000	131,210
292	176,245	36,245	-0,074	-0,922	125,690
293	176,186	36,186	-0,074	0,000	131,090
294	176,127	36,127	-0,075	-0,922	125,569
295	176,067	36,067	-0,076	0,000	130,968
296	176,007	36,007	-0,076	-0,922	125,447
297	175,946	35,946	-0,077	-0,922	125,383
298	175,884	35,884	-0,078	0,000	130,778
299	175,822	35,822	-0,078	0,000	130,716
300	175,76	35,76	-0,079	-0,922	125,194
301	175,697	35,697	-0,080	-0,922	125,128
302	175,633	35,633	-0,081	0,000	130,520
303	175,569	35,569	-0,081	0,000	130,456
304	175,505	35,505	-0,081	-0,922	124,933
305	175,44	35,44	-0,083	-0,922	124,865
306	175,374	35,374	-0,083	0,000	130,254
307	175,308	35,308	-0,084	-0,922	124,730
308	175,241	35,241	-0,084	0,000	130,117
309	175,174	35,174	-0,085	-0,922	124,593
310	175,106	35,106	-0,086	0,000	129,978
311	175,038	35,038	-0,089	-4,612	105,659
312	174,965	34,965	-0,101	-13,835	72,903
313	174,877	34,877	-0,127	-23,980	50,163
314	174,763	34,763	-0,167	-34,126	34,832
315	174,612	34,612	-0,216	-37,815	30,493
316	174,42	34,42	-0,268	-38,737	29,582
317	174,186	34,186	-0,321	-38,737	29,728
318	173,91	33,91	-0,374	-38,737	29,899
319	173,592	33,592	-0,427	-38,737	30,097
320	173,232	33,232	-0,481	-40,582	28,390
321	172,828	32,828	-0,535	-38,737	30,596
322	172,382	32,382	-0,590	-40,582	28,963
323	171,892	31,892	-0,644	-39,660	30,245
324	171,359	31,359	-0,699	-40,582	29,668

325	170,782	30,782	-0,755	-41,504	29,172
326	170,16	30,16	-0,811	-40,582	30,528
327	169,494	29,494	-0,868	-41,504	30,107
328	168,783	28,783	-0,924	-41,504	30,633
329	168,027	28,027	-0,982	-42,427	30,338
330	167,225	27,225	-1,039	-42,427	30,959
331	166,377	26,377	-1,097	-42,427	31,615
332	165,483	25,483	-1,152	-36,893	37,572
333	164,549	24,549	-1,195	-26,747	49,788
334	163,586	23,586	-1,225	-16,602	65,334
335	162,605	22,605	-1,241	-7,379	84,035
336	161,616	21,616	-1,246	0,000	103,990
337	160,627	20,627	-1,247	-1,845	97,278
338	159,636	19,636	-1,249	0,000	102,079
339	158,645	18,645	-1,249	0,000	101,131
340	157,654	17,654	-1,249	-0,922	97,299
341	156,662	16,662	-1,251	-0,922	96,368
342	155,669	15,669	-1,251	0,000	98,283
343	154,676	14,676	-1,251	0,000	97,340
344	153,683	13,683	-1,252	-1,845	90,885
345	152,688	12,688	-1,253	0,922	98,357
346	151,694	11,694	-1,254	-1,845	89,072
347	150,698	10,698	-1,255	0,000	93,567
348	149,702	9,702	-1,256	-0,922	89,894
349	148,705	8,705	-1,256	0,000	91,691
350	147,708	7,708	-1,257	-1,845	85,467
351	146,709	6,709	-1,258	0,922	92,607
352	145,711	5,711	-1,259	-1,845	83,674
353	144,711	4,711	-1,260	0,000	87,955
354	143,711	3,711	-1,259	0,922	89,757
355	142,712	2,712	-1,227	46,116	-3439,653
356	141,763	1,763	-1,091	153,105	-91,122
357	140,98	0,98	-0,840	213,978	-69,091
358	140,429	0,429	-0,551	210,289	-65,126
359	140,106	0,106	-0,270	200,143	-63,806
360	140	0	-0,134	97,766	-88,208

Prin urmare, diametrul maxim al frezei care poate fi utilizată pentru prelucrarea preliminară a profilului camei de injecție de la motorul L35 MC este de 127,612 mm. Pentru prelucrare s-a ales o freză elicoidală din oțel rapid cu diametrul părții active de 100 mm, având 8 dinți.

Metoda clasică pentru calculul regimului de așchiere presupune determinarea apriorică a durabilității sculei. Aceasta se poate stabili utilizând tabele normative sau prin calcul.

La determinarea durabilității prin calcul se are în vedere scopul urmărit: productivitate maximă, cost al operației minim etc. În cazul frezării profilului camei scopul urmărit este cel al obținerii unui cost minim al operației, din aceleași motive ca și cele arătate la subcapitolul 3.1.

În acest caz durabilitatea T se calculează cu relația:

$$T = \frac{1-m}{m} \cdot \left(t_c + \frac{C_s}{C_b} \right) \quad [\text{min}] \quad (3.19)$$

- în care:
- m reprezintă exponentul durabilității, acesta se determină experimental în funcție de cuplul sculă-semifabricat;
 - t_c este timpul de staționare a mașinii-unelte pentru înlocuirea sculei [min];
 - C_s reprezintă cheltuieli de exploatare a sculei [lei];
 - C_b este costul unui minut de prelucrare [min].

Pentru calcule rapide se pot utiliza tabelele normative, pentru scula descrisă mai înainte, în cazul frezării unei piese de oțel, durabilitatea prescrisă este de 240 de minute [101].

3.2.3 Optimizarea adâncimii de așchiere, a vitezei de avans pe contur și a vitezei de așchiere

Adâncimea de așchiere la prelucrarea primară a profilului camei prin frezare se stabilește ținând cont că, aceasta este o operație de degroșare. Având ca scop realizarea operației cu un cost al prelucrării cât mai mic, se recomandă îndepărtarea adaosului de prelucrare la o singură trecere. În vederea atingerii acestui deziderat, în prealabil semifabricatul a fost debitat prin tăiere cu flacăra oxiacetilenică, pe o mașină de debitat cu comandă numerică. Astfel, semifabricatul are un adaos uniform de 5 mm, pentru îndepărtare la operația de frezare. Acest adaos poate fi îndepărtat la o singură trecere și a fost stabilit astfel încât, prin frezare să fie înlăturat stratul afectat termic la debitare, precum și abaterile dimensionale.

Mărimea care caracterizează sarcina pe un dinte al frezei este avansul pe dinte s_d . Pentru prelucrarea oțelului cu freze elicoidale din oțel rapid, pe mașina de frezat FV 500, este recomandat un avans de 0,3 mm pe dinte [111].

Viteza de așchiere v la frezare cu freze cilindrice se calculează cu formula:

$$v = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot s_d^{y_v} \cdot B^{u_v} \cdot z^{p_v}} \cdot K_v \quad [\text{m/min}] \quad (3.20)$$

- în care:
- T este durabilitatea exprimată în minute;
 - t este adâncimea de așchiere [mm];
 - s_d reprezintă avansul pe dinte [mm/dinte];
 - B este lățimea camei [mm];
 - z reprezintă numărul de dinți;
 - D este diametrul exterior al părții active a frezei;
 - C_v este o constantă ce ține seama de influența unor condiții constante de așchiere asupra vitezei;
 - K_v coeficient de corecție a vitezei;
 - m, x_v , y_v , u_v , p_v , q_v sunt exponenți determinați experimental.

Efectuând calculele se obține pentru viteza de așchiere valoarea de 15,7 m/min. Pentru realizarea acestei viteze freza trebuie să se rotească cu turația de 50,09 rot/min. Deși gama de turații a mașinii-unelte este continuă, programarea turației se poate face numai cu numere întregi. Astfel, în programul de prelucrare turația se va programa prin adresa "S 50" și va avea valoarea de 50 rot/min, aceasta fiind valoarea întregă imediat inferioară celei calculate.

Avansul pe dinte și turația fiind stabilite se poate trece la calcularea vitezei de avans pe contur v_s cu formula:

$$v_s = s_d \cdot n \cdot z \quad [\text{mm/min}] \quad (3.21)$$

Efectuând calculele se obține valoarea de 120 mm/min pentru viteza de avans. În programul de prelucrare viteza de avans se programează sub adresa "F 120", ca și în cazul programării turației nefiind permisă programarea unei valori zecimale.

Regimul de așchiere astfel calculat trebuie să satisfacă unele condiții restrictive și anume:

- condiția restrictivă impusă de puterea mașinii-unelte. Dacă inegalitatea (3.22) este satisfăcută, regimul de așchiere este considerat verificat din acest punct de vedere.

$$n^{r_p} \cdot t^{x_p} \cdot s_d^{y_p} \leq \frac{P_{M-U} \cdot \eta}{10^{-5} \cdot C_p \cdot D^{q_p} \cdot B^{u_p} \cdot z} \quad (3.22)$$

în care:

- P_{M-U} reprezintă puterea mașinii unelte;
 - η este randamentul mașinii-unelte;
 - C_p este constanta puterii care ține seama de cuplul semifabricat-sculă;
 - x_p, y_p, u_p, r_p, q_p sunt exponenți ai puterii determinați experimental;
 - celelalte notații fiind identice cu cele prezentate pentru relația (3.20).
- condiția restrictivă impusă de rezistența sculei, prin respectarea inegalității (3.23) fiind verificat regimul de așchiere.

$$s_d^{y_f} \cdot t^{x_f} \leq \frac{\tau_a \cdot A}{0,85 \cdot C_f \cdot B^{u_f} \cdot D^{-q_f} \cdot \sqrt{z_1}} \quad (3.23)$$

Pe lângă notațiile utilizate în relațiile (3.20) și (3.21) s-au mai folosit:

- τ_a este efortul admisibil la forfecare, în daN/mm²;
 - A este secțiunea de încastrare a dintelui frezei în corpul acesteia, în mm²;
 - z_1 reprezintă numărul de dinți ai frezei aflați simultan în așchiere.
- condiția restrictivă impusă de cinematica mașinii-unelte, presupune ca inegalitatea (3.24) să fie satisfăcută de către parametrii regimului de așchiere.

$$s_d^{y_f} \cdot t^{x_f} \leq \frac{F_{ma}}{0,75 \cdot C_f \cdot B^{u_f} \cdot D^{-q_f} \cdot z} \quad (3.24)$$

în care, alături de notațiile utilizate mai înainte, s-au mai folosit:

- F_{ma} care este forța admisă de mecanismul de avans.

După efectuarea calculelor s-a constatat că regimul de așchiere satisface inegalitățile prezentate mai înainte. Cu acest regim de așchiere a fost întocmit programul de prelucrare și efectuată prelucrarea.

3.2.4 Rezultate experimentale

Pentru întocmirea programului s-au calculat coordonatele carteziene ale profilului, utilizând programul prezentat la subcapitolul 3.1.2, ținând cont de faptul că pentru operațiile de prelucrare ulterioare trebuie să rămână un adaos de prelucrare de 2 mm. Acest lucru s-a rezolvat relativ ușor, introducând ca dată de calcul în program

valoarea diametrului rolei diminuată cu 4 mm. Astfel, coordonatele carteziene ale profilului real, rezultate în urma rulării programului, asigură un adaos de prelucrare de 2 mm de-a lungul întregului contur. Părților de început și sfârșit ale programului de prelucrare, trebuie să li se acorde o atenție deosebită. Intrarea și ieșirea de pe contur trebuie să fie făcută în același "punct" de pe contur. Intrarea și ieșirea frezei de pe conturul camei trebuie să se facă pe un arc de cerc, prin interpolare circulară, utilizând funcțiile principale G2 și G3 ale mașinii-unelte. Raza arcului de cerc pe care se face interpolarea circulară trebuie astfel aleasă încât să nu fie mai mică decât raza frezei, situație în care programul de prelucrare nu poate fi rulat de comanda numerică a mașinii-unelte.

Punctul de început al prelucrării trebuie astfel ales încât, prin intrarea frezei pe contur, să nu fie îndepărtat adaosul de material din zonele învecinate. În cazul camei de injecție de la motoarele Diesel Burmeister&Wein, tip L 35 MC, s-a ales ca punct de intrare și ieșire de pe contur, punctul cu coordonatele carteziene aferente unghiului de rotație de 180° (vezi tabelul 3.6). Acest punct este situat într-o zonă circulară a conturului camei, practic la mijlocul unui arc de cerc, acesta fiind și punctul de tangență dintre arcul de cerc pe care se face intrarea și ieșirea frezei de pe contur, și conturul camei de prelucrat. Astfel, se evită îndepărtarea adaosului de material din zonele învecinate punctului de intrare și ieșire.

Având freza poziționată cu partea periferică pe conturul camei care trebuie prelucrată, urmează deplasarea acesteia de la punctul programat la următorul, prin interpolare liniară sub adresa G1.

Abaterile de la cursa tchetului, obținute în urma prelucrării primare prin frezare profilului camei de injecție de la motoarele Diesel tip L35, cu regimul de așchiere și programul de prelucrare descrise mai înainte, sunt prezentate în graficul din figura 3.26.

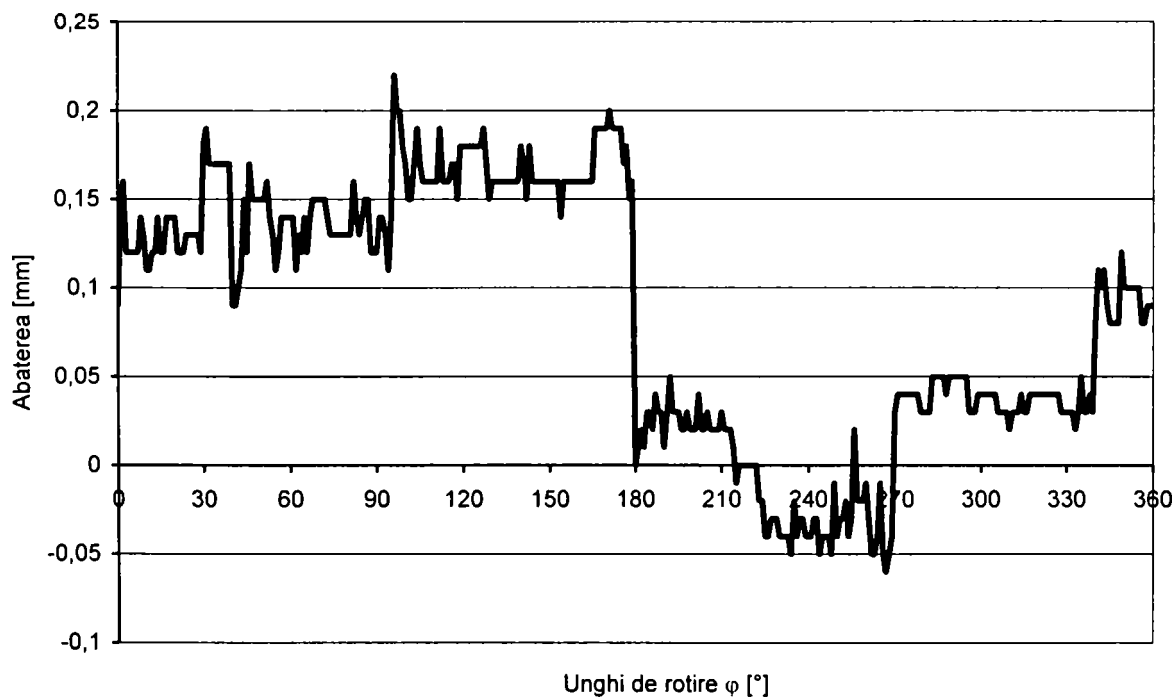


Fig. 3.26 Abaterile cursei tchetului, după prelucrarea prin frezare pe mașina cu comandă numerică FV 500, a profilului camei de injecție de la motoarele Diesel MAN Burmeister&Wein tip L 35 MC

Observând graficul se poate constata că abaterea totală se situează în jurul valorii de 0,3 mm, existând unele salturi. Acestea se datorează jocurilor de întoarcere a mașinii-unelte, adică, la schimbarea sensului mișcării pe una din axele mașinii. La mașina de frezat FV 500, jocul de întoarcere admis este de 0,03 mm, iar precizia de poziționare pe fiecare axă este de $\pm 0,025$ mm. La deplasarea mașinii pe două axe simultan și schimbarea sensului de deplasare pe una din axe, teoretic poate să apară o abatere de la poziționarea mașinii de 0,10 mm. Pentru a limita valoarea acestor abateri, la întocmirea programului de prelucrare, se utilizează funcția G 60 în frazele în care sensul de mișcare pe una dintre axe se modifică. Prin această funcție echipamentul de comandă numerică realizează oprirea la cota programată, în limitele erorii admisibile. Poziționarea precisă realizată prin funcția G 60 are loc prin decelerarea sistemului care se deplasează, până la valoarea zero a avansului.

Pentru restul frazelor se programează funcția de conturare G 64, pentru a realiza trecerea lină de pe o porțiune de contur pe altă porțiune adiacentă.

Pentru a observa zonele de contur în care se schimbă direcția de deplasare, pe cele două axe ale mașinii, s-au prezentat în tabelul 3.7 coordonatele carteziene utilizate la întocmirea programului. S-au prezentat coordonatele pentru jumătate de contur, deoarece profilul este simetric.

Tabelul 3.7

Unghi de rotire φ [°]	Coordonatele [mm]		Unghi de rotire φ [°]	Coordonatele [mm]	
	X	Y		X	Y
0	95,000	0,000	91	-2,312	132,433
1	95,092	1,660	92	-4,624	132,418
2	95,371	3,330	93	-6,937	132,363
3	95,848	5,023	94	-9,249	132,267
4	96,527	6,750	95	-11,560	132,129
5	97,340	8,516	96	-13,869	131,952
6	98,170	10,318	97	-16,175	131,733
7	98,968	12,152	98	-18,477	131,473
8	99,731	14,016	99	-20,776	131,173
9	100,457	15,911	100	-23,069	130,832
10	101,148	17,835	101	-25,357	130,449
11	101,800	19,788	102	-27,638	130,027
12	102,414	21,769	103	-29,912	129,565
13	102,989	23,777	104	-32,179	129,062
14	103,525	25,812	105	-34,436	128,518
15	104,019	27,872	106	-36,685	127,935
16	104,473	29,957	107	-38,923	127,312
17	104,884	32,066	108	-41,151	126,649
18	105,252	34,199	109	-43,367	125,948
19	105,578	36,354	110	-45,571	125,206
20	105,860	38,530	111	-47,763	124,426
21	106,097	40,727	112	-49,940	123,606
22	106,289	42,943	113	-52,104	122,748
23	106,435	45,179	114	-54,252	121,851
24	106,534	47,432	115	-56,385	120,918

25	106,586	49,702	116	-58,501	119,945
26	106,584	51,985	117	-60,600	118,935
27	106,519	54,274	118	-62,682	117,889
28	106,380	56,563	119	-64,746	116,805
29	106,159	58,845	120	-66,791	115,685
30	105,850	61,113	121	-68,815	114,528
31	105,455	63,364	122	-70,819	113,335
32	104,974	65,595	123	-72,803	112,107
33	104,409	67,804	124	-74,765	110,844
34	103,762	69,989	125	-76,705	109,546
35	103,035	72,146	126	-78,622	108,213
36	102,227	74,272	127	-80,515	106,847
37	101,340	76,366	128	-82,384	105,447
38	100,378	78,424	129	-84,229	104,014
39	99,341	80,445	130	-86,049	102,549
40	98,231	82,426	131	-87,842	101,050
41	97,050	84,364	132	-89,609	99,521
42	95,799	86,258	133	-91,349	97,960
43	94,481	88,105	134	-93,062	96,369
44	93,097	89,903	135	-94,746	94,746
45	91,650	91,650	136	-96,402	93,095
46	90,141	93,344	137	-98,028	91,413
47	88,576	94,986	138	-99,626	89,704
48	86,964	96,583	139	-101,192	87,965
49	85,313	98,141	140	-102,728	86,199
50	83,631	99,667	141	-104,233	84,406
51	81,921	101,164	142	-105,706	82,587
52	80,184	102,631	143	-107,147	80,741
53	78,421	104,069	144	-108,556	78,870
54	76,632	105,475	145	-109,930	76,974
55	74,817	106,850	146	-111,272	75,054
56	72,977	108,194	147	-112,579	73,110
57	71,113	109,504	148	-113,852	71,143
58	69,225	110,783	149	-115,091	69,154
59	67,314	112,029	150	-116,294	67,143
60	65,380	113,241	151	-117,461	65,110
61	63,424	114,419	152	-118,593	63,057
62	61,446	115,564	153	-119,688	60,984
63	59,448	116,674	154	-120,747	58,892
64	57,430	117,748	155	-121,768	56,781
65	55,391	118,787	156	-122,752	54,653
66	53,334	119,790	157	-123,698	52,507
67	51,258	120,757	158	-124,607	50,345
68	49,165	121,688	159	-125,477	48,166
69	47,055	122,582	160	-126,309	45,973
70	44,928	123,439	161	-127,101	43,764
71	42,786	124,258	162	-127,855	41,543

72	40,628	125,040	163	-128,569	39,308
73	38,456	125,784	164	-129,245	37,060
74	36,270	126,490	165	-129,879	34,801
75	34,071	127,156	166	-130,474	32,531
76	31,860	127,785	167	-131,028	30,250
77	29,638	128,374	168	-131,543	27,960
78	27,404	128,924	169	-132,017	25,662
79	25,160	129,434	170	-132,450	23,354
80	22,906	129,906	171	-132,842	21,040
81	20,643	130,337	172	-133,194	18,719
82	18,373	130,728	173	-133,504	16,392
83	16,095	131,080	174	-133,773	14,060
84	13,810	131,391	175	-134,001	11,724
85	11,519	131,661	176	-134,187	9,383
86	9,223	131,892	177	-134,333	7,040
87	6,922	132,082	178	-134,436	4,695
88	4,618	132,230	179	-134,499	2,348
89	2,310	132,339	180	-134,519	0,000
90	0,000	132,406			

3.2.5 Concluzii

Prelucrarea preliminară a profilului camelor prin frezare se poate executa prin două procedee, și anume: prin copiere după șablon și prin conturare cu ajutorul comenzii numerice. Așa cum s-a arătat la subcapitolul 2.3.2 frezare prin conturare cu ajutorul comenzii numerice prezintă multiple avantaje. Frezarea profilului camelor se efectuează cu freze cilindrice elicoidale. Ca metodă de frezare este recomandată frezarea în sensul avansului, aceasta prezentând numeroase avantaje.

Pentru prelucrarea preliminară a profilului camelor de la motoarele Diesel de putere mare tip MAN Burmeister&Wein s-a folosit o mașină de frezat verticală FV500, cu comandă numerică cu calculator, tip NUMERIK H-646 CNC.

Pentru optimizarea factorilor tehnologici s-a avut ca scop realizarea operației cu costuri minime și s-au parcurs următoarele etape:

- s-a stabilit diametrul părții active a frezei. Pentru determinarea acestuia se impune efectuarea analizei cinematice a mecanismului cu camă, având ca scop determinarea formei profilului de copiat. Dacă profilul camei are zone concave, este necesară determinarea valorii minime a razei de curbură. Nu este permis ca valoarea maximă a razei frezei să depășească valoarea minimă a razei de curbură. Se poate lua ca referință valoarea diametrului rolei tachetului însă, sunt situații când se poate adopta un diametru al frezei mai mare decât al rolei tachetului. Costul operației scade proporțional cu creșterea diametrului frezei;
- adaosul de prelucrare s-a stabilit în funcție de procedeul de obținere a semifabricatului, astfel încât stratul superficial afectat și abaterile de la procedeul de elaborare să fie îndepărtate. Prin alegerea corespunzătoare a procedeului de obținere a semifabricatului, respectiv tăiere cu flacără oxiacetilenică pe o mașină de debitat cu comandă numerică, întregul adaos de prelucrare poate fi îndepărtat la o trecere;
- stabilirea avansului pe dinte s-a făcut conform indicațiilor din cartea mașinii;

- cunoscând valorile adâncimii de aşchiere şi avansului pe dinte, cu ajutorul unei formule determinată experimental se calculează viteza de aşchiere. Cunoscând valoarea vitezei de aşchiere se poate determina turaţia sculei, în funcţie de diametrul frezei, turaţia fiind parametrul care trebuie programat;
- viteza de avans pe contur este parametrul care trebuie programat la maşina-unealtă, valoarea acesteia fiind calculată funcţie de: turaţia sculei, avansul pe dinte şi numărul de dinţi al frezei;
- parametrii determinaţi ai regimului de aşchiere trebuie să fie verificaţi, prin îndeplinirea unor condiţii restrictive impuse de: puterea maşinii-unelte, rezistenţa sculei şi cinematica maşinii-unelte.

După stabilirea parametrilor regimului de aşchiere, în vederea întocmirii programului de prelucrare, trebuie să fie determinate coordonatele carteziene ale profilului real al camei. Acestea trebuie stabilite astfel încât, după prelucrarea profilului camei, să rămână pentru operaţiile ulterioare un adaos suficient de prelucrare. Astfel, valoarea diametrului rolei tachetului, utilizată în formulele de calcul al coordonatelor, trebuie diminuată cu dublul valorii adaosului de prelucrare.

La întocmirea programului de prelucrare se vor utiliza coordonatele astfel determinate, traiectoria centrului frezei fiind recalculată de calculatorul echipamentului de comandă numerică. Acest lucru este posibil prin utilizarea funcţiilor G 41 sau G 42, care lansează comanda de deplasare echidistantă a sculei la stânga, respectiv dreapta conturului piesei, în sensul de parcurgere al acestuia.

Pentru parcurgerea conturului camei se va utiliza funcţia de conturare G64, care asigură trecerea lină de pe o porţiune de contur pe altă porţiune adiacentă. Excepţie făcând acele puncte de pe profilul camei, în care sensul de deplasare pe una din axe, al mesei maşinii-unelte, se schimbă. Pentru a reduce influenţa jocului de întoarcere se va utiliza funcţia G 60, care realizează poziţionarea la cota programată în limitele erorii admisibile stabilite de executantul maşinii-unelte. Poziţionarea precisă se realizează prin decelerarea mişcării mesei maşinii-unelte până la valoarea zero a avansului. Funcţia de poziţionare exactă G60 va fi folosită şi pentru atingerea punctului de intrare şi ieşire de pe conturul camei.

Punctul de intrare şi ieşire de pe contur se va alege astfel încât să fie evitată subtăierea punctelor învecinate. Pentru aceasta este recomandat ca punctul de intrare şi ieşire de pe contur să fie ales la mijlocul cercului de vârf al camei. Intrarea şi ieşirea frezei pe contur trebuie realizată prin interpolare circulară, utilizând funcţiile G 2 şi G3, pentru a evita eventualele subtăieri în acest punct.

Pentru măsurarea curselor tachetului este necesară utilizarea unui dispozitiv special.

Capitolul 4. OPTIMIZAREA FACTORILOR TEHNOLOGICI LA PRELUCRAREA FINALĂ A PROFILULUI

Rectificarea este un procedeu de prelucrare prin aşchiere capabil să îndepărteze adaosul de prelucrare, prevăzut pentru finisare după tratamentul termic final, de pe suprafeţe cu o duritate mai mare de 60 HRC, în condiţiile asigurării unei precizii dimensionale ridicate, rugozitate redusă şi portanţă ridicată. Acest lucru este posibil de realizat numai dacă parametrii tehnologici ai procesului de aşchiere sunt stabiliţi corespunzător. Stabilirea valorii acestora se face prin optimizare, în funcţie de scopul propus.

La optimizarea factorilor care intervin în procesul de rectificarea a profilului camei se urmăreşte realizarea preciziei dimensionale a conturului prelucrat, în concordanţă cu documentaţia de execuţie, la un cost minim al operaţiei.

Faţă de rectificarea suprafeţelor cilindrice sau a celor plane, rectificarea suprafeţelor profilate ale camelor prezintă particularităţi tehnologice. Acestea se datorează atât formei geometrice deosebite, cât şi condiţiilor tehnice impuse profilului.

Rectificarea profilului camei se poate realiza pe două tipuri de maşini unelte, diferenţiate între ele prin purtătorul de informaţie al sistemului de comandă a mişcării de avans. Din acest punct de vedere se deosebesc: maşini de rectificat prin copiere după şablon şi maşini de rectificat cu comandă numerică.

Maşinile de rectificat prin copiere după şablon sunt construite în două variante, în funcţie de modul de realizare a mişcării avansului de urmărire. Această mişcare poate fi rectilinie sau oscilantă. Maşinile de rectificat prin copiere după şablon la care mişcarea avansului de urmărire este rectilinie, sunt utilizate la rectificarea conturului camelor care au cursă mică a tachelului, cum este cazul arborilor cu came monobloc. Cel de-al doilea tip de maşină este utilizat la rectificarea profilului camelor care au cursă mare, aşa cum este cazul camelor individuale de la motoarele Diesel de mare putere.

Indiferent de tipul maşinii de rectificat, pentru optimizarea parametrilor regimului de aşchiere se parcurg aceleaşi etape. Deosebirea constă în modul de rezolvare a problemelor legate de uzarea discului abraziv. La maşinile de rectificat cu comandă numerică, această problemă este rezolvată cu ajutorul echipamentului de comandă numerică, prin modificarea traiectoriei centrului discului abraziv în funcţie de uzarea acestuia. La maşinile de rectificat prin copiere după şablon, problema se rezolvă prin utilizarea unui set de şabloane. Din acest punct de vedere, modul de rezolvare a problemelor legate de uzarea discului abraziv la maşinile de rectificat prin copiere este mai spectaculos. În funcţie de intervalul de diametre în care poate fi utilizat discul abraziv şi de precizia prescrisă a profilului ce urmează a fi generat, se stabileşte exact numărul necesar de şabloane şi domeniul de diametre al discului abraziv pentru fiecare şablon. Modul de generare al şabloanelor reprezintă o particularitate a maşinilor de rectificat prin copiere.

Din motivele prezentate mai înainte s-a luat în considerare operaţia de rectificarea finală a profilului camelor pe maşini de rectificat prin copiere după şablon.

4.1. Optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea finală a profilului la arbori cu came monobloc

4.1.1 Prezentarea instalației experimentale

Rectificarea finală a profilului camelor de pe arbori cu came monobloc, care face parte din mecanismul de distribuție al motoarelor Diesel tip R 251, s-a efectuat pe o mașină de rectificat cu mișcare a avansului de urmărire de translație. Mașina este fabricată de către firma DIAG Werk Hermann KOLB, tipul acesteia fiind Model 4, o imagine a acesteia fiind prezentată în figura 4.1.

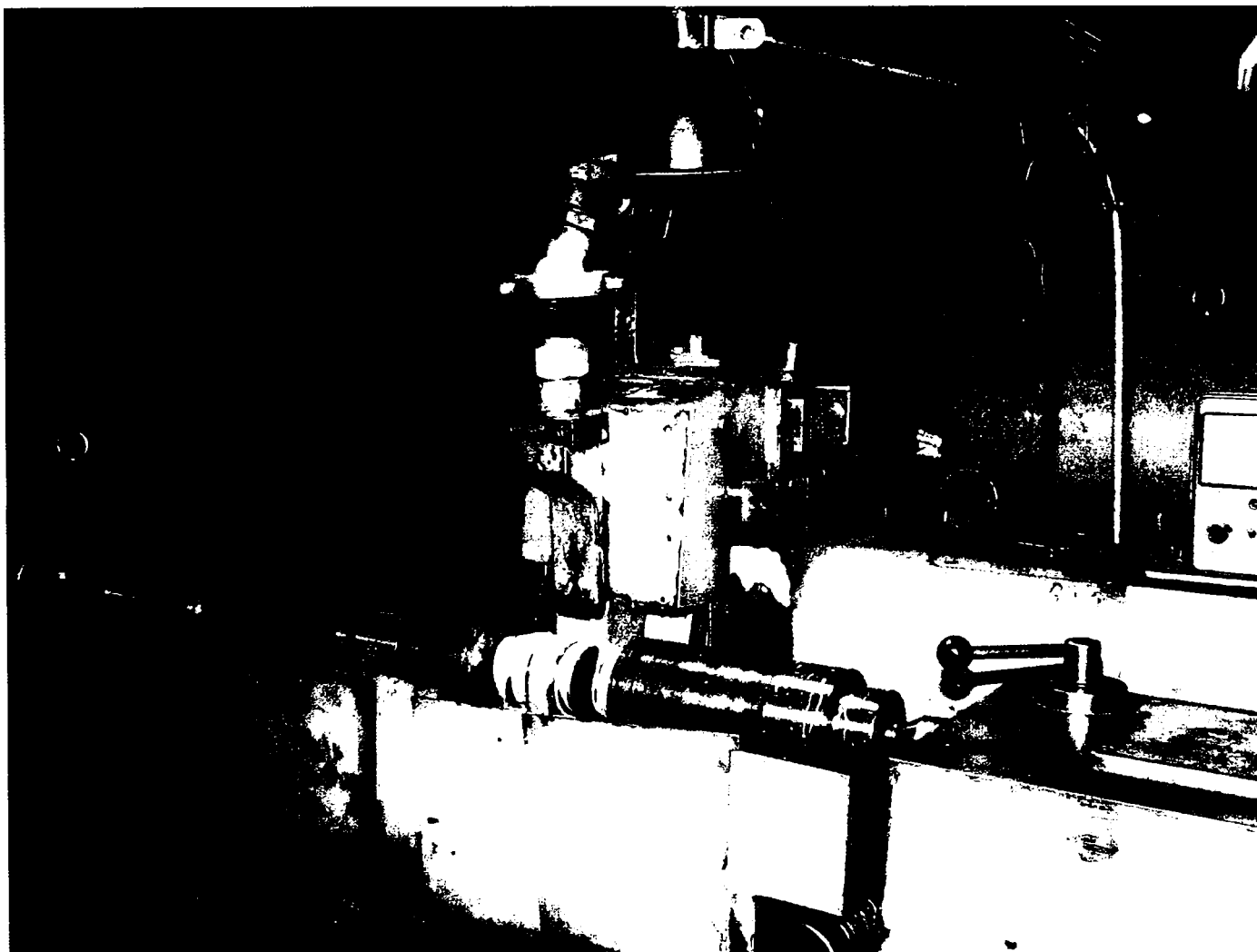


Fig. 4.1 Mașina de rectificat prin copiere arbori cu came monobloc DIAG Werk Hermann KOLB, Model 4

Ca și construcție se aseamănă cu mașina de rectificat exterior între vârfuri, ceea ce o deosebește fiind acționarea avansului transversal al păpușii portpiatră. Acționarea avansului transversal, care este avans de urmărire la copierea conturului camei după șablon, se face printr-un sistem de copiere hidraulic. Sertarul de urmărire al sistemului de copiere primește mărimea de intrare, care este o deplasare axială, de la rola de palpare a șablonului. Întregul ansamblu al arborelui port șabloane este amplasat în partea din spate a mașinii, așa cum se poate observa și în figura 4.2. Rotirea sincronă a arborelui cu came care se prelucrează, cu arborele port șabloane este asigurată prin intermediul a două motoare pas cu pas. Motoarele sunt reglabile continuu, iar la

poziționarea unghiulară inițială, arborele cu came este rotit (cu ajutorul motorului de antrenare al arborelui portpiesă) în poziția „zero” a camei care urmează a fi rectificată, la fel procedându-se și cu arborele portșabloane. La pornirea procesului de copiere cei doi arbori se vor roti sincron.



Fig. 4.2 Ansamblul arbore portșabloane-rolă de palpare

Arborele cu came este fixat între vârfurile păpușilor fixă și mobilă. Pe arborele păpușii fixe este dispusă flanșa de antrenare, care este prevăzută cu un știft pentru antrenare. Pe capătul arborelui cu came, dinspre păpușa fixă, este montată o piesă de legătură, prin intermediul căreia se face antrenarea arborelui cu came în mișcare de rotație. Piesa de legătură este centrată pe arborele cu came cu ajutorul unui știft, care intră în alezajul din flanșa de cuplare. Axa formată de centrele alezajului de știft și cel central, poartă denumirea de „axa zero” a arborelui cu came, aceasta fiind referința pentru decalarea unghiulară a camelor care sunt dispuse pe tronsonul respectiv. Știftul flanșei de antrenare poate fi adus în poziția „zero a mașinii” prin intermediul comutatoarelor decadice, cu care este prevăzută panoul de comandă a motoarelor de antrenare. Pentru aducerea alezajului de știft în aceeași axă „zero a mașinii” s-au prevăzut în piesa de legătură, două șuruburi pentru centrare și fixare. Unul dintre șuruburi este folosit pentru centrarea arborelui cu came în raport cu știftul de antrenare, iar celălalt pentru anularea jocului dintre știft și piesa de legătură. Reglarea inițială a șurubului de centrare se efectuează cu ajutorul unui arbore fals, pe care este sudată o riglă, care are prelucrată o suprafață plană perpendiculară pe „axa zero” a arborelui. Cu ajutorul unei nivele cu bulă de aer, a cărei precizie este de 0,02 mm/1m, știftul din piesa

de legătură este adus în poziția „zero” a mașinii. În această poziție se asigură șurubul de centrare prin intermediul a două piulițe, așa cum se poate observa în figura 4.3.

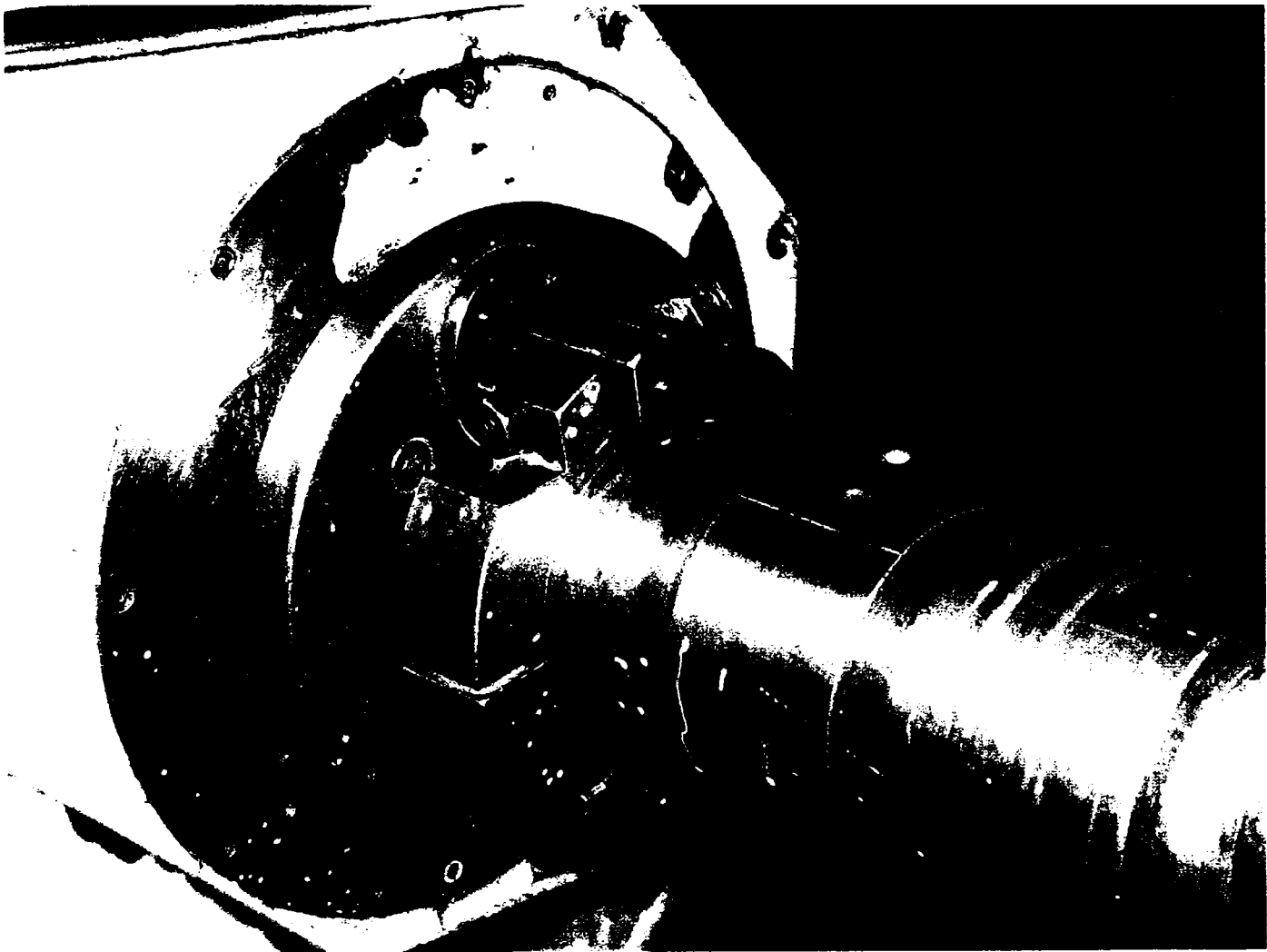


Fig. 4.3 Ansamblul de centrare și antrenare a arborelui cu came

Mașina de rectificat este dotată cu echipamentul necesar rectificării șabloanelor direct pe arborele portșabloane. Pentru aceasta, în locul arborelui, cu ajutorul unui dispozitiv este fixată o camă etalon, iar în locul obișnuit al discului abraziv se montează o rolă. Diametrul acesteia este egal cu diametrul discului abraziv care urmează a fi folosit la rectificarea profilului camei. Pe arborele portșabloane se montează semifabricatul pentru șablon. Inițial acesta a fost circular, iar după montarea pe arborele portșabloane a fost trasat cu ajutorul unui ac pentru trasare, montat pe arborele rolei de palpate. După trasare discul a fost frezat aproximativ, conform marcajului și reînstatat pe arborele portșabloane. În locul arborelui ce susține rola de palpate a fost montat un arbore port piatră abrazivă, discul abraziv montat pe acest arbore având diametrul egal cu cel al rolei de palpate. Antrenarea în mișcare de rotație a arborelui portpiatră se efectuează cu ajutorul unei transmisii cu curele și a unui motor electric, așa cum se poate observa în figura 4.4.

Pe arborele portșabloane pot fi montate mai multe șabloane, așa cum se poate vedea și în figura 4.5. Întregul ansamblu al rolei de palpate poate culisa în plan longitudinal, făcând astfel posibilă poziționarea rolei de palpate pe șablonul dorit.

Pentru evitarea fenomenelor termice nedorite, mașina este echipată cu o instalație de răcire, care poate furniza la locul așchierii lichid de răcire cu un debit de

120 l/min. Instalația de răcire este prevăzută cu un separator de particule metalice și cu un filtru pentru reținerea impurităților din lichidul de răcire recuperat.



Fig. 4.4 Ansamblul pentru rectificarea șabloanelor

Principalii parametrii constructivi ai mașinii sunt prezentați în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

Denumirea parametrului	Valoarea
Diametrul maxim al piesei de prelucrat [mm]	400
Distanța maximă între vârfuri [mm]	1500
Cursa maximă a saniei de copiere [mm]	50
Domeniul vitezei de avans longitudinal[m/min]	0...2
Domeniul vitezei de avans transversal [m/min]	0...0,8
Gama turațiilor arborelui portpiesă [rot/min]	0... 15
Puterea motorului electric de acționare a pietrei [kW]	5,5

Pentru măsurarea curselor tachelului s-a utilizat dispozitivul prezentat la subcapitolul 3.1.1.

În cele ce urmează se va prezenta modul de stabilire a parametrilor tehnologici și influența acestora asupra preciziei de prelucrare, pentru profilul camei de injecție. Pentru profilele camelor de admisie și evacuare se procedează identic, iar rezultatele experimentale fiind asemănătoare, nu au fost prezentate

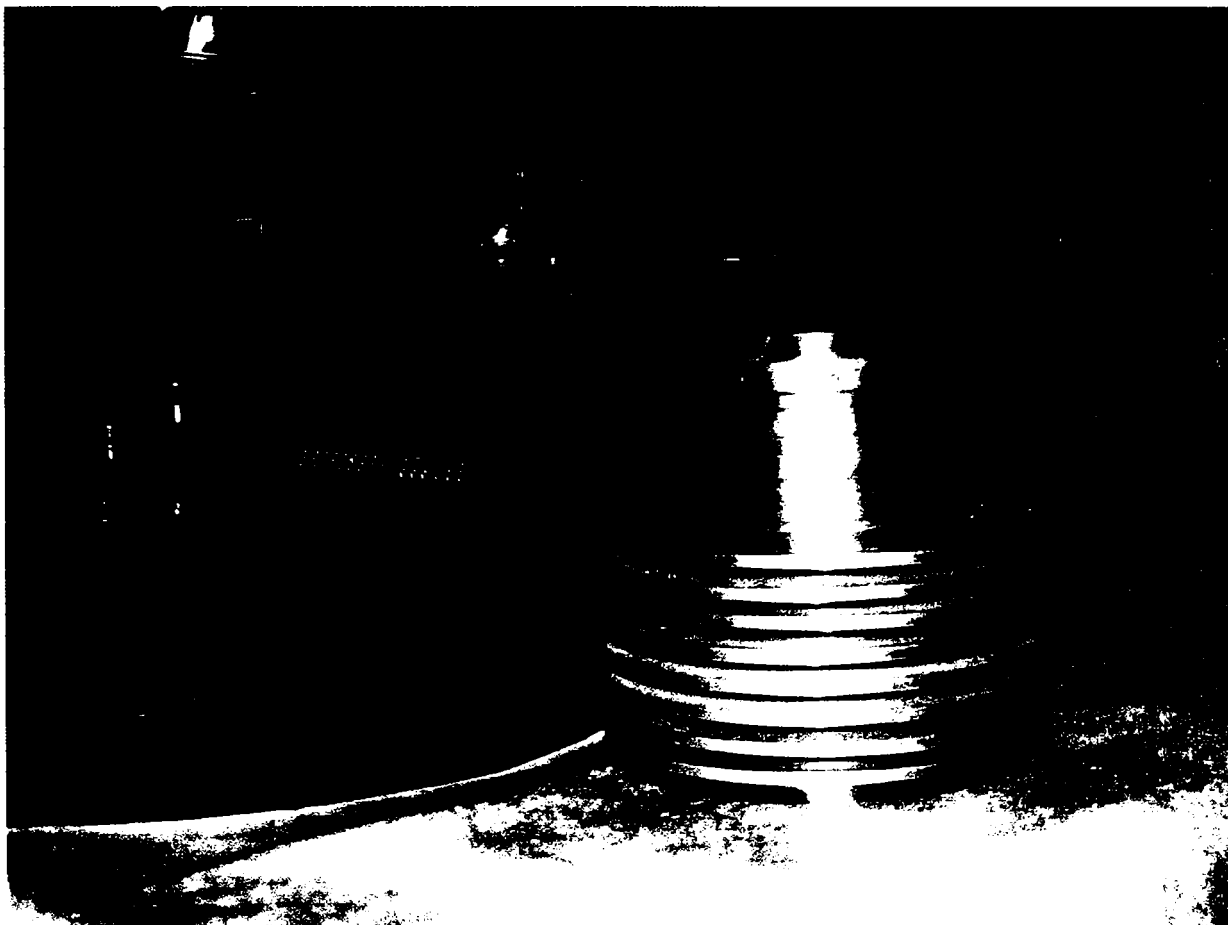


Fig. 4.5 Ansamblul arbore portșabloane



Fig. 4.6 Rectificarea prin copiere a profilului camei de injecție de la motoarele Diesel tip R 251

4.1.2 Optimizarea alegerii calității discului abraziv

Alegerea corectă a sculei abrazive stă la baza eficienței procesului de rectificare. Caracteristicile discurilor abrazive și condițiile de așchiere trebuie să se intercondiționeze astfel încât, în timpul prelucrării, acesta să se autoascută

În cadrul procesului tehnologic de prelucrare a profilului camei de injecție sunt necesare două operații de rectificare, și anume:

- rectificarea de degroșare, executată înainte de operația de călire prin curenți de înaltă frecvență, scopul acestei operații fiind de uniformizare a adaosului ce urmează a fi îndepărtat la operația de rectificare după călire. Camele de injecție ale motorului tip R251 sunt în prealabil profilate prin strunjire, abateri de la profil situându-se la valori de cca. 0,7 mm. Dacă profilul camei se călește fără a uniformiza stratul superficial, zonele cu abateri mari de la profil vor rămâne cu o duritate mai mică decât cea prescrisă.
- rectificarea de finisare, executată după operația de călire prin curenți de înaltă frecvență, cu scopul de-a asigura precizia și calitatea suprafeței conform cerințelor impuse de documentația de execuție.

Ținând cont de cele precizate la punctul 2.5.1, și pe baza experimentelor făcute pentru cele două operații de rectificare, s-au stabilit pentru discurile abrazive caracteristicile prezentate în tabelul 4.2.

Tabel 4.2

Caracteristici	Rectificare degroșare	Rectificare finisare
Material abraziv	Electrocorindon: 32A	Electrocorindon: 89A
Granulație	Fină: 60	Fină: 60
Duritate	Mijlocie :N	Moale :I
Structura	Medie: 8	Deschisă: 10
Liant	Vulcanitic: V217	Vulcanitic: V217
Simbol disc abraziv	32A 60 N8 V217	89A 60 I10 V217

Pentru ambele operații de rectificare materialul abraziv este corindonul artificial de mare puritate. Granulația s-a ales în așa fel încât, să asigure rugozitatea prescrisă. Duritatea discului abraziv s-a ales în concordanță cu duritatea suprafeței prelucrate, iar structura, s-a ales în funcție de tipul operației de rectificare.

4.1.3 Optimizarea alegerii diametrului discului abraziv

Analizând parametrii cinematici ai mecanismului cu camă, obținuții în urma analizei cinematice și prezentați în tabelul 3.3, în special raza de curbura, se poate constata că acest profil de camă nu are zone concave, ceea ce permite alegerea diametrului discului abraziv fără restricții, din acest punct de vedere.

Diametrul exterior al discului abraziv este indicat a fi ales cât mai mare posibil, în situația în care nu există restricții de altă natură. Deoarece, sarcina este preluată de un număr mai mare de granule, și scăderea diametrului exterior prin uzare are loc mai lent. Mașina de rectificat profil came tip DIAG Werk Hermann KOLB, Model nr. 4 permite instalarea unui disc abraziv cu diametrul exterior maxim de 500 mm. Lățimea acestuia se alege în funcție de lățimea camei, recomandat fiind ca lățimea discului abraziv să

depășească lățimea camei cu aproximativ 30 %. Lățimea camei de injecție fiind de 38 mm, s-a ales pentru lățimea discului abraziv valoarea standardizată de 50 mm.

La generarea profilului camei prin rectificare o importanță deosebită o are diametrul discului abraziv. Prin autoascuțire diametrul acestuia scade și ca urmare abaterile profilului cresc. Important este să se stabilească valoarea minimă până la care diametrul discului abraziv poate să scadă[61].

Pentru a determina analitic valoarea minimă până la care se poate utiliza discul abraziv s-a procedat astfel. Având calculate coordonatele reale ale profilului, așa cum s-a arătat în subcapitolul 3.1.2, în programul EXCEL s-a scris o foaie de calcul pentru determinarea legii de mișcare a centrului discului abraziv, folosind relațiile (2.20). Considerând această traiectorie de referință, s-a diminuat cu câte 1 mm diametrul discului abraziv. Cu aceste valori ale diametrului au fost recalculat coordonatele profilului real, cu coordonatele astfel determinate calculându-se legea de mișcare a centrului rolei tchetului. Aceasta a fost comparată cu legea de mișcare a tchetului prescrisă în documentația de execuție. S-a constatat că la o diminuare a diametrului discului abraziv cu 15 mm, se atinge o valoare a abaterii de la profil apropiată de abaterea maximă prescrisă. Pentru a mări intervalul de utilizare a discului abraziv, s-au recalculat abaterile, considerând diametrul de bază al discului abraziv de 485 mm. S-a constatat că la o mărire a diametrului discului abraziv cu 15 mm, abaterile profilului teoretic al camei se încadrează în limitele prescrise, ceea ce înseamnă că pentru o uzare a diametrului discului abraziv de 30 mm abaterile se mențin în limitele prescrise. Rezultatele calculelor sunt prezentate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2

Tachet		Disc abraziv		Disc abraziv cu diametrul mai mic cu 15 mm		Disc abraziv cu diametrul mai mare cu 15 mm	
Unghi	Raza polară	Unghi	Raza polară	Raza polară	Abatere	Raza polară	Abatere
φ_1 [°]	ρ_1 [mm]	φ_2 [°]	ρ_2 [mm]	ρ_1' [mm]	ε' [mm]	ρ_1'' [mm]	ε'' [mm]
1	2	3	4	5	6	7	8
0°	66.7766	0°	283.8766	66.7766	0	66.7766	0
1° 30'	66.8045	2°40'26"	283.8862	66.9467	0.1422	66.95384	0.1493
3	66.8858	4°5'42"	283.9698	67.0181	0.1323	67.02902	0.1332
4° 30'	67.0204	5°29'40"	284.1072	67.1293	0.1089	67.163	0.1426
6	67.2109	6°53'51"	284.3001	67.2994	0.0885	67.32683	0.1159
7° 30'	67.4547	8°18'33"	284.5459	67.5264	0.0717	67.54862	0.0939
9	67.7595	9°43'36"	284.8524	67.8171	0.0576	67.83491	0.0754
10° 30'	68.1202	11°40'26"	285.2144	68.1664	0.0462	68.18069	0.0605
12	68.5419	12°35'16"	285.6372	68.5791	0.0372	68.59072	0.0488
13° 30'	69.0245	14°1'46"	286.1206	69.0545	0.0300	69.06386	0.0394
15	69.5731	15°28'39"	286.6699	69.5973	0.0242	69.60485	0.0317
16° 30'	70.1878	16°51'51"	287.2852	70.2073	0.0195	70.21344	0.0256
18	70.876	18°23'20"	287.9738	70.8918	0.0158	70.89668	0.0207
19	71.374	19°20'21"	288.4722	71.3871	0.0131	71.39118	0.0172
20° 30'	72.141	20°50'6"	289.2394	72.1525	0.0115	72.15613	0.0151
22	72.898	22°19'47"	289.9964	72.9090	0.0110	72.91247	0.0145
23° 30'	73.6396	23°49'51"	290.738	73.6506	0.0110	73.65402	0.0144

25	74.3661	25°19'59"	291.4644	74.3771	0.0110	74.38057	0.0145
26° 30'	75.0773	26°50'8"	292.1756	75.0884	0.0111	75.09185	0.0146
28	75.7707	28°20'20"	292.8689	75.7819	0.0112	75.78541	0.0147
29° 30'	76.4489	29°50'33"	293.5471	76.4602	0.0113	76.46379	0.0149
30° 59'	77.1093	31°19'40"	294.2074	77.1207	0.0114	77.12425	0.0150
31° 59'	77.5385	32°20'	294.6365	77.5502	0.0117	77.55385	0.0154
32° 59'	77.9602	33°20'22"	295.0582	77.9722	0.0120	77.97601	0.0158
33° 59'	78.3717	34°20'37"	295.4696	78.3839	0.0122	78.38781	0.0161
34° 59'	78.7755	35°20'54"	295.8733	78.7880	0.0125	78.79193	0.0164
35° 59'	79.1692	36°21'11"	296.2669	79.1819	0.0127	79.18598	0.0168
36° 59'	79.5526	37°21'26"	296.6503	79.5657	0.0131	79.56985	0.0173
37° 59'	79.9261	38°21'56"	297.0237	79.9396	0.0135	79.94385	0.0178
38° 59'	80.2716	39°22'48"	297.369	80.2860	0.0144	80.29065	0.0191
39° 59'	80.5865	40°24'23"	297.6835	80.6028	0.0163	80.60807	0.0216
40° 59'	80.8634	41°26'32"	297.9598	80.8825	0.0191	80.88868	0.0253
41° 59'	81.1022	42°29'22"	298.1979	81.1254	0.0232	81.13284	0.0306
42° 59'	81.3054	43°32'38"	298.4	81.3338	0.0284	81.3429	0.0375
43° 59'	81.4705	44°36'32"	298.5638	81.5058	0.0353	81.5171	0.0466
44° 59'	81.6	45°41'11"	298.6915	81.6445	0.0445	81.65875	0.0587
45° 59'	81.6914	46°46'40"	298.7806	81.7481	0.0567	81.7663	0.0749
46° 59'	81.7473	47°52'58"	298.8334	81.8199	0.0726	81.84325	0.0959
47° 59'	81.7651	49°	298.8474	81.8578	0.0927	81.88759	0.1225
Intervalul 47° 59' ÷ 72° 31' este zona de repaus superior							
72° 31'	81.7651	72°31'2"	298.8651	81.7651	0.0000	81.7651	0.0000
73° 31'	81.7473	72°24'	298.8262	81.8580	0.1107	81.89349	0.1462
74° 31'	81.6914	73°29'59"	298.7737	81.7843	0.0929	81.81409	0.1227
75° 31'	81.6	74°36'59"	298.6861	81.6729	0.0729	81.69631	0.0963
76° 31'	81.4705	75°40'26"	298.5597	81.5276	0.0571	81.54587	0.0754
77° 31'	81.3054	76°48'42"	298.3969	81.3503	0.0449	81.36469	0.0593
78° 31'	81.1022	77°53'19"	298.1955	81.1379	0.0357	81.14938	0.0472
79° 31'	80.8634	78°57'12"	297.958	80.8922	0.0288	80.90149	0.0381
80° 31'	80.5865	80°0'27"	297.6821	80.6102	0.0237	80.61773	0.0312
81° 31'	80.2716	81°3'16"	297.368	80.2912	0.0196	80.29746	0.0259
82° 31'	79.9261	82°5'24"	297.0231	79.9429	0.0168	79.94823	0.0221
83° 31'	79.5526	83°6'58"	296.6499	79.5675	0.0149	79.5722	0.0196
84° 31'	79.1692	84°7'50"	296.2667	79.1831	0.0139	79.1875	0.0183
85° 31'	78.7755	85°4'6"	295.8731	78.7890	0.0135	78.79331	0.0178
86° 31'	78.3717	86°8'34"	295.4694	78.3849	0.0132	78.38904	0.0173
87° 31'	77.9602	87°8'51"	295.058	77.9731	0.0129	77.97719	0.0170
88° 31'	77.5385	88°9'6"	294.6364	77.5512	0.0127	77.55517	0.0167
89° 31'	77.1093	89°9'22"	294.2072	77.1217	0.0124	77.12568	0.0164
91	76.4489	90°38'39"	293.5469	76.4611	0.0122	76.46497	0.0161
92° 30'	75.7707	92°8'54"	292.8688	75.7827	0.0120	75.78653	0.0158
94	75.0773	93°39'2"	292.1754	75.0893	0.0120	75.09309	0.0158
95° 30'	74.3661	95°9'14"	291.4643	74.3780	0.0119	74.38173	0.0156

97	73.6396	96°39'25"	290.7378	73.6514	0.0118	73.65509	0.0155
98° 30'	72.898	98°9'34"	289.9963	72.9098	0.0118	72.91344	0.0154
100	72.141	99°10'26"	289.2393	72.1527	0.0117	72.15641	0.0154
101° 30'	71.374	101°9'45"	288.4724	71.3858	0.0118	71.38949	0.0155
102° 30'	70.876	102°6'12"	287.9743	70.8882	0.0122	70.89202	0.0160
104	70.1878	103°38'16"	287.2859	70.2016	0.0138	70.20592	0.0181
105° 30'	69.5731	105°6'12"	286.6709	69.5898	0.0167	69.59501	0.0219
107	69.0245	106°33'42"	286.1218	69.0451	0.0206	69.05148	0.0270
108° 30'	68.5419	108°0'55"	285.6387	68.5672	0.0253	68.57508	0.0332
110	68.1202	109°27'50"	285.2163	68.1514	0.0312	68.16107	0.0409
111° 30'	67.7595	110°54'22"	284.8547	67.7979	0.0384	67.80987	0.0504
113	67.4547	112°20'32"	284.5489	67.5021	0.0474	67.51675	0.0621
114° 30'	67.2109	113°46'8"	284.3037	67.2696	0.0587	67.28781	0.0769
116	67.0204	115°11'15"	284.1116	67.0932	0.0728	67.11569	0.0953
117° 30'	66.8858	116°36'4"	283.975	66.9752	0.0894	67.00288	0.1171
119	66.8045	118°0'16"	283.8913	66.9140	0.1095	66.94794	0.1434
120° 30'	66.7766	119°24'16"	283.8606	66.9092	0.1326	66.95028	0.1737
Intervalul 120° 30' ÷ 360° este zona de repaus inferior							

Având în vedere că diametrului interior al discului abraziv are valoarea de 350 mm, domeniul de utilizare a diametrului exterior al discului abraziv este de la 500 mm la 400 mm. S-a stabilit ca fiind necesară confecționarea a trei șabloane, diametrul rolei utilizate la rectificarea șabloanelor fiind la mijlocul intervalului de uzare. Detaliile referitoare la domeniile de utilizare a discului abraziv, precum și diametrul rolei sunt prezentate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

	Șablon nr.1	Șablon nr.2	Șablon nr.3
Diametrul maxim al discului abraziv	500 mm	470 mm	440 mm
Diametrul minim al discului abraziv	470 mm	440 mm	410 mm
Diametrul rolei utilizate la rectificarea șablon	485 mm	455 mm	425 mm

4.1.4 Optimizarea vitezei de așchiere, a turației piesei și a avansului de pătrundere

Viteza de așchiere, egală cu viteza periferică a discului abraziv, se reglează la mașina-unealtă prin intermediul turației arborelui port-piatră. La mașina de rectificat profil came tip DIAG Werk Hermann KOLB, Model nr. 4 arborele prort-piatră are posibilitatea de a se roti cu turația 1900 rotații/minut. Viteza de așchiere la discul abraziv v_{DA} , se calculează cu relația:

$$v_{DA} = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot 60} \quad [\text{m/s}] \quad (4.1)$$

- în care:
- n este turația arborelui port-piatră, în rot/min;
 - D este diametrul discului abraziv, în mm.

Ținând cont de faptul că diametrul discului abraziv poate avea valori cuprinse în intervalul 400...500 mm, viteza de aşchiere va avea valori cuprinse în intervalul 39,8...49,7 m/s. Viteza de aşchiere la discul abraziv scăzând la uzarea discului abraziv.

La rectificarea profilului camelor, ca și la strunjirea prin copiere a profilului camelor, turația maximă a arborelui cu came este limitată de viteza maximă a mișcării de avans transversal. Urmărind datele tehnice ale mașinii de rectificat prezentate în tabelul 4.1, se poate constata că viteza maximă a avansului de copiere are valoarea de 0,8 m/min. Analizând parametrii cinematici ai mecanismului cu camă, prezentați în tabelul 3.3, se observă că viteza maximă a tachetului este de 2,286 m/min. Turația maximă a arborelui port-piesă $n_{PP\max}$, se calculează cu formula (4.2) folosind valorile de mai sus:

$$n_{PP\max} = \frac{v_{AT\max} \cdot n_{MC}}{v_{MC\max}} \quad [\text{rot/min}] \quad (4.2)$$

În care:

- $v_{AT\max}$ este viteza maximă a mișcării de avans transversal, impusă de fabricantul mașinii, în m/min;
- n_{MC} este turația nominală la care funcționează mecanismul cu camă, în rot/min;
- $v_{MC\max}$ este viteza maximă a tachetului mecanismului cu camă, în m/min.

Efectuând calculele, rezultă că în cazul rectificării profilului camei de injecție, de la motorul Diesel tip R251, valoarea maximă a turației camei poate fi de 4,37 rot/min.

Avansul de pătrundere se stabilește în funcție de diametrul de rectificat și de lățimea discului abraziv, astfel:

- la operația de rectificare degroșare, pentru îndepărtarea adaosului de prelucrare de 1 mm, s-a stabilit valoarea avansului de 0,015 mm/rot;
- la operația de rectificare finisare, adaosul de prelucrare de maxim 0,4 mm se îndepărtează diferențiat, fazele de prelucrare fiind următoarele:
 - **faza I** – se îndepărtează adaosul de prelucrare, lăsând pentru faza II un adaos de îndepărtat de 0,1 mm, cu un avans de pătrundere de 0,01 mm/rot, prima fază se încheie cu reascuțirea discului abraziv;
 - **faza II** – se îndepărtează adaosul de prelucrare rămas, cu un avans de pătrundere de 0,005 mm/rot, și această fază se încheie cu reascuțirea discului abraziv;
 - **faza III** – este numită și scânteiere, deoarece pentru cinci rotații ale camei discul abraziv nu are mișcare de pătrundere, scopul acesteia fiind de a îndepărta stratul de material tasat elastic în faza II.

După stabilirea valorii parametrilor regimului de aşchiere aceștia trebuie să fie verificați, prin calcularea puterii de aşchiere și compararea acesteia cu puterea mașinii de rectificat.

Valoarea puterii de aşchiere necesară la rectificarea profilului camei se calculează cu relația (4.3) [102] utilizând parametrii determinați pentru faza de degroșare. La această fază fiind necesară o putere de aşchiere mai mare.

$$P = 0,098 \cdot v_p^{0,7} \cdot s_p^{0,7} \cdot d_p^{0,25} \cdot B \cdot K_{HB1} \cdot K_M \quad [\text{kW}] \quad (4.3)$$

În care:

- v_p este viteza de rotație a piesei, în m/min;
- s_p este avansul de pătrundere, în mm/rot;
- d_p reprezintă diametrul de prelucrat, în mm;
- B este lățimea camei, în mm;
- K_{HB1} este coeficient de corecție al puterii, în funcție de duritatea discului abraziv;

- K_M este coeficient de corecție al puterii, în funcție de materialul de prelucrat.

Efectuând calculele, s-a constatat că puterea necesară la așchiere, în faza de rectificare degroșare a profilului camei, este mai mică decât puterea motorului electric de acționare a discului abraziv.

4.1.5 Concluzii

Pentru a determina influența parametrilor regimului de așchiere, asupra preciziei și calității suprafeței profilului camei, s-au efectuat operații de rectificare a profilului camei de injecție de la motoarele Diesel tip R 251. Așa cum s-a arătat și mai înainte, influența cea mai mare asupra profilului camei, obținut la rectificare prin copiere după șablon, o are turația arborelui cu came și diametrul discului abraziv. Pentru a putea observa influența acestor doi parametri asupra preciziei profilului camei, unul dintre cei doi parametri a fost ținut constant iar celălalt parametru a fost modificat.

Influența turației piesei asupra profilului rectificat s-a determinat prin menținerea constantă a diametrului discului abraziv, în timpul fazei de finisare, la valoarea de 485 mm, aceasta fiind și valoarea diametrului rolei utilizată la rectificarea șabloanelor.

Așa cum se poate observa în figurile 4.7 și 4.8, turația care a asigurat abaterile cele mai mici de la cursa nominală a tchetului de injecție este cea de 0,6 rot/min. Sub această valoare nu a fost posibil de coborât, deoarece au apărut fisuri pe suprafața rectificată, așa cum sunt prezentate în imaginea din figura 4.9. Apariția fisurilor se datorează supraîncălzirii. Deși răcirea camei a fost asigurată prin utilizarea unui debit mare de lichid de răcire, nu a fost posibil să se înlăture fenomenul de supraîncălzire, datorat contactului local îndelungat dintre profilul camei și discul abraziv.

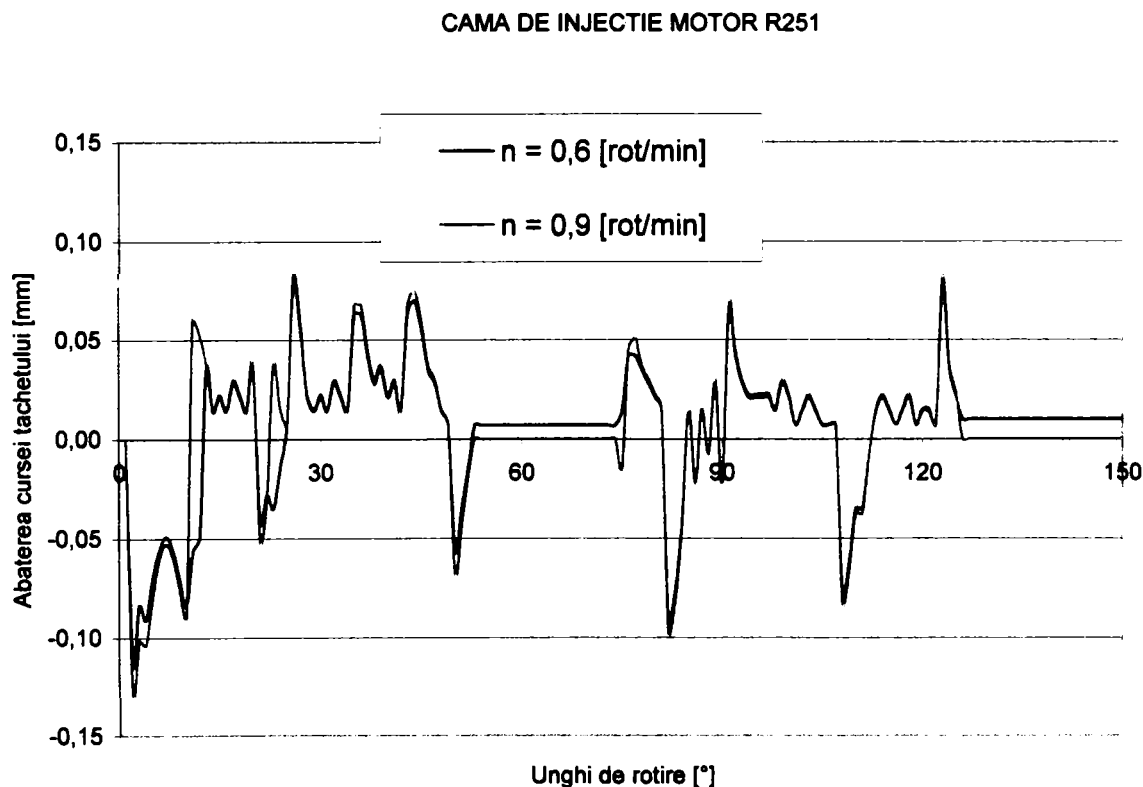


Fig. 4.7 Abaterile cursei nominale a tchetului camei de injecție la rectificarea profilului cu turațiile de 0,6 și 0,9 rot/min

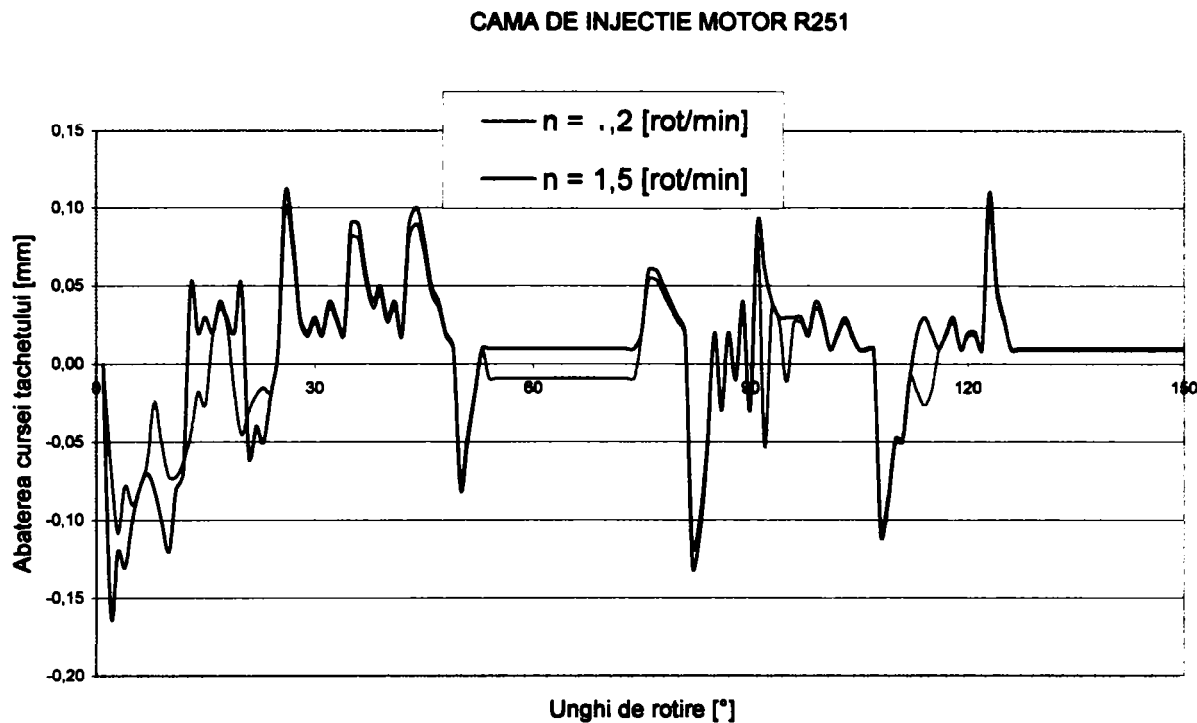


Fig. 4.8 Abaterile cursei nominale a tchetului camei de injectie la rectificarea profilului cu turațiile de 1,2 și 1,5 rot/min

Urmărind figura 4.8 se poate observa că turația maximă, determinată experimental, care asigură la limită precizia impusă profilului camei ($\pm 0,15$ mm) este de 1,5 rot/min.

În figura 4.10 sunt prezentate abaterile obținute la prelucrarea profilului camei cu o turație de 2 rot/min respectiv 3 rot/min. Se poate observa că acestea depășesc cu mult valorile limită ale abaterii de la cursa nominală a tchetului.



Fig. 4.9 Fisuri superficiale ale profilului camei, datorate turației scăzute și contactului îndelungat dintre camă și discul abraziv

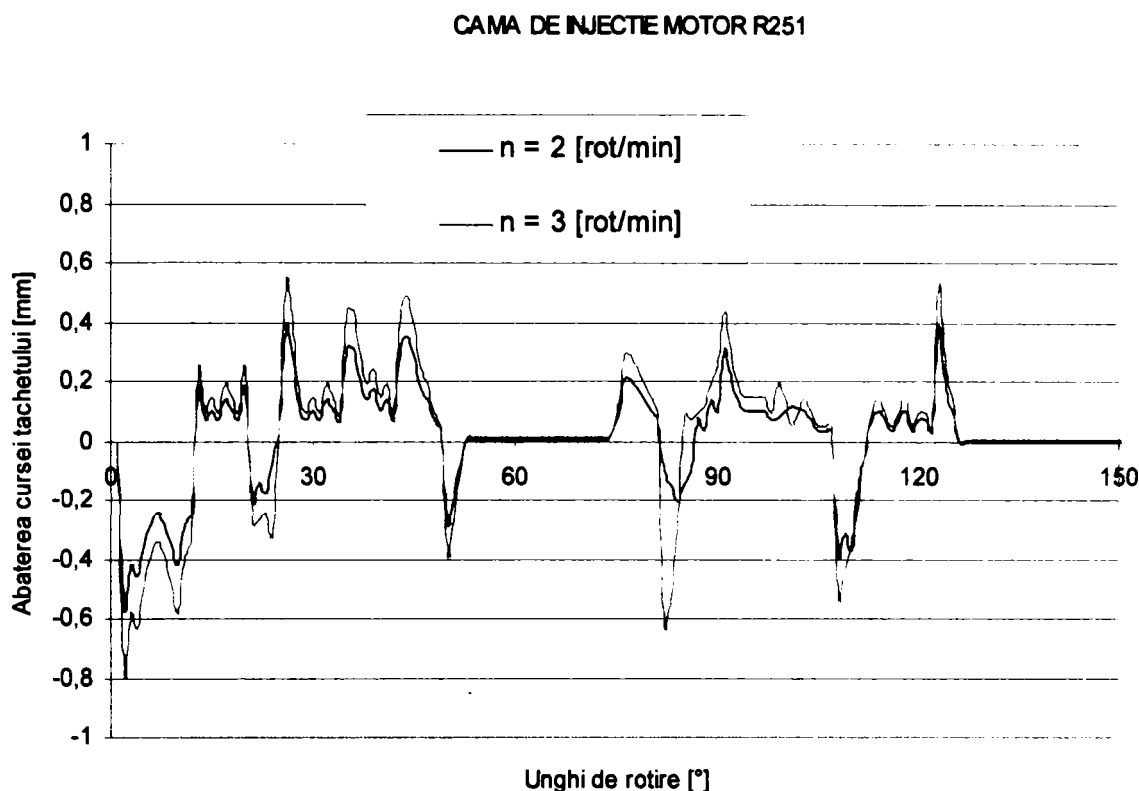


Fig. 4.10 Abaterile cursei nominale a tachelului camei de injecție la rectificarea profilului cu turațiile de 2 și 3 rot/min

La rectificarea profilului camei cu turația arborelui cu came de peste 1,5 rot/min, au apărut abateri ale cursei tachelului care depășesc valorile limită prescrise, acestea crescând proporțional cu turația. Odată cu creșterea abaterilor, s-a constatat și o înrăutățire a gradului de netezire a suprafeței prelucrate. Înrăutățirea calității suprafeței prelucrate se datorează, în cea mai mare măsură, vibrațiilor apărute în procesul de rectificare, provocate de creșterea forțelor de inerție, odată cu creșterea accelerațiilor saniei de copiere.

Ținând cont de influența turației arborelui cu came, la rectificarea profilului camei de injecție, se recomandă utilizarea următoarelor turații ale camei:

- la rectificarea de degroșare se recomandă ca turația camei să fie cuprinsă în intervalul 1,2 rot/min ÷ 1,5 rot/min cu recomandarea ca la ultimii 0,1 mm îndepărtați să se scadă turația la valoarea de 0,9 mm/rot;
- la rectificarea de finisare se recomandă următoarele turații:
 - în faza I se poate începe prelucrarea cu o turație a camei de 1,2 rot/min;
 - în faza II turația camei trebuie scăzută la valoarea 0,9 rot/min, care asigură obținerea unei precizii corespunzătoare;
 - în faza III, care are loc fără avans de pătrundere, se recomandă utilizarea unei turații de 0,6 mm/rot, turație care asigură obținerea unei precizii dimensionale și o calitate a suprafeței în concordanță cu cerințele impuse acestora.

Același nivel al abaterilor cursei tachelului s-a înregistrat la rectificarea profilului camei de injecție dacă s-au folosit discuri abrazive cu diametrul de 455 și 425 mm. De asemenea, la rectificarea profilului camelor de admisie și evacuare cu același regim de așchiere, s-au obținut abateri care au același ordin de mărime cu cel al camelor de injecție.

Pentru a stabili influența diametrului discului abraziv asupra preciziei profilului camei, se menține constantă valoarea turației și se rectifică profilul camei cu discuri abrazive având diferite diametre. S-a rectificat profilul camei cu turația de 0,6 rot/min, care a asigurat obținerea celor mai mici abateri de la profilul nominal al camei.

Urmărind figurile 4.11 și 4.12, se poate constata că abaterile de la cursa nominală a tachetului depind de diametrul discului abraziv utilizat la rectificarea profilului camei. Ținând cont de faptul că diametrul rolei (care înlocuiește discul abraziv) utilizată la confecționarea primului șablon este de 485 mm, s-au comparat valorile abaterilor curselor nominale ale tachetului camei de injecție, obținute la rectificarea cu diferite diametre ale discului abraziv, cu valorile abaterilor obținute la rectificarea profilului camei cu un disc abraziv al cărui diametru a avut valoarea de 485 mm.

Se poate constata că prin uzarea discului abraziv abaterile de la profilul camei cresc. De asemenea, prin utilizarea unui disc abraziv cu diametrul mai mare decât valoarea celui utilizat la rectificarea camelor șablon, se înregistrează o creștere a abaterilor de la cursa nominală a tachetului.

Rezultatele obținute experimental confirmă corectitudinea calculelor teoretice, și anume, se poate observa că utilizând discuri abrazive cu diametrele limită de 470 și 500 mm se obțin abateri de la cursa nominală a tachetului care se încadrează în valorile prescrise în documentația de execuție.

CAMA DE INJECTIE MOTOR R251

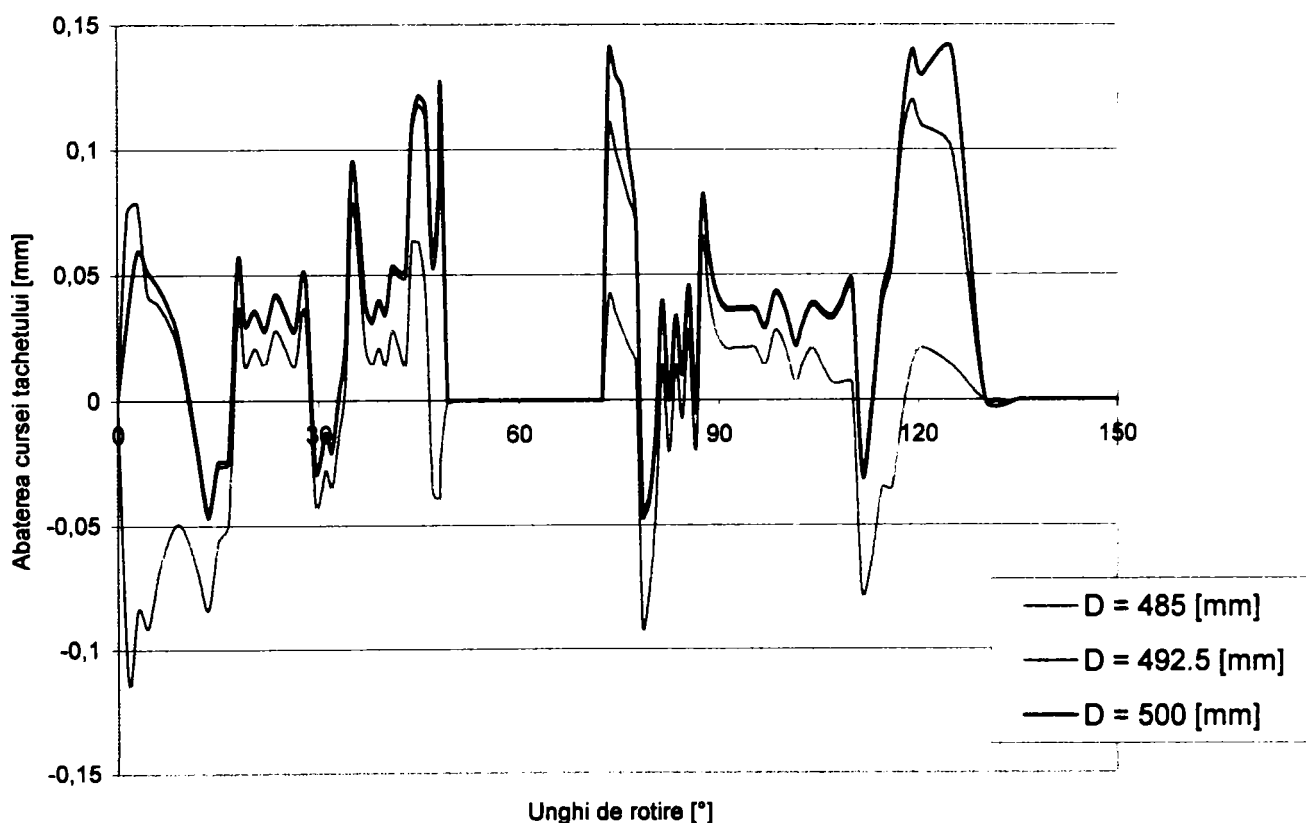


Fig. 4.11 Abaterile cursei nominale a tachetului de injecție, la rectificarea profilului camei cu discuri abrazive având diametrele de: 485, 492,5 și 500 mm

O creștere semnificativă a valorii abaterilor de la cursa nominală a tachetului pompei de injecție, se înregistrează în zonele aferente profilului camei în care unghiul de presiune are valori mai ridicate, respectiv la începutul fazei de ridicare și la sfârșitul acesteia, situația fiind identică și pentru faza de coborâre, așa cum se poate observa și

În figura 4.13. Ceea ce confirmă teoriile cunoscute ale sintezei mecanismelor, care stau la baza determinării gabariturii camei, accentuând importanța unghiului de presiune.

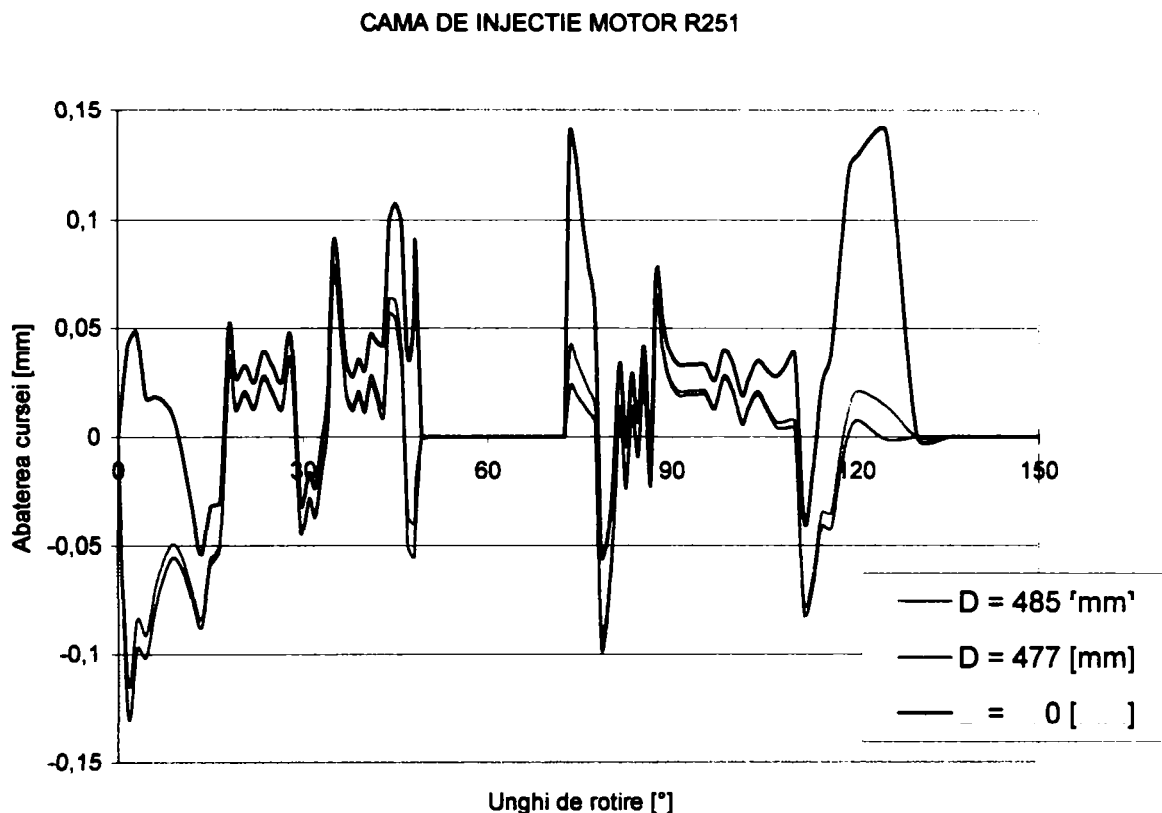


Fig. 4.12 Abaterile cursei nominale a tachelului de injecție, la rectificarea profilului camei cu discuri abrazive având diametrele de: 485, 477 și 470 mm

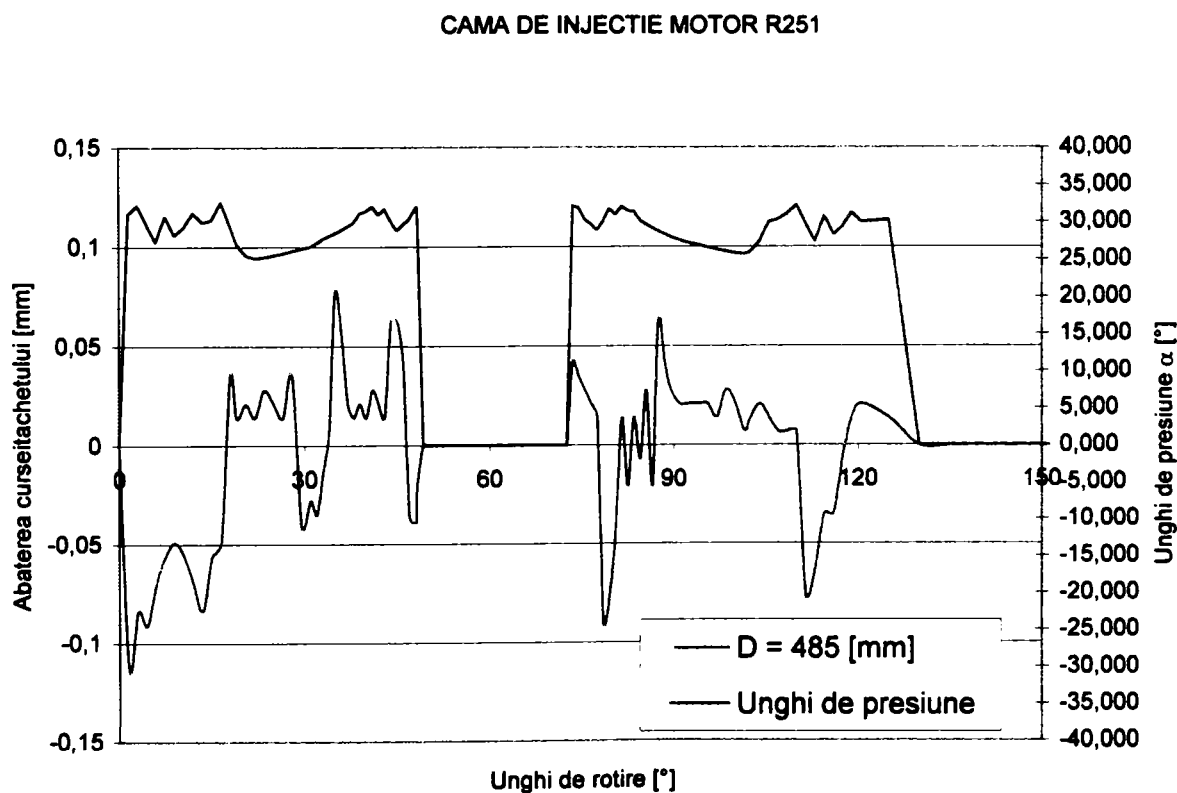


Fig. 4.13 Abaterile de la cursa nominală a tachelului în funcție de valoarea unghiului de presiune

Diagrama reprezentată în figura 4.13 include și abaterile de la cursa nominală a tachelului datorate influenței variației accelerației. Din acest motiv s-a reprezentat în figura 4.14 corelația dintre abaterile de la cursa nominală a tachelului și accelerația înregistrată la sania de copiere a mașinii de rectificat. Observând figura se poate constata că, corespunzător unghiului de rotire al camei la care se înregistrează salturi în diagrama accelerațiilor, apar și abateri mai mari ale cursei tachelului.

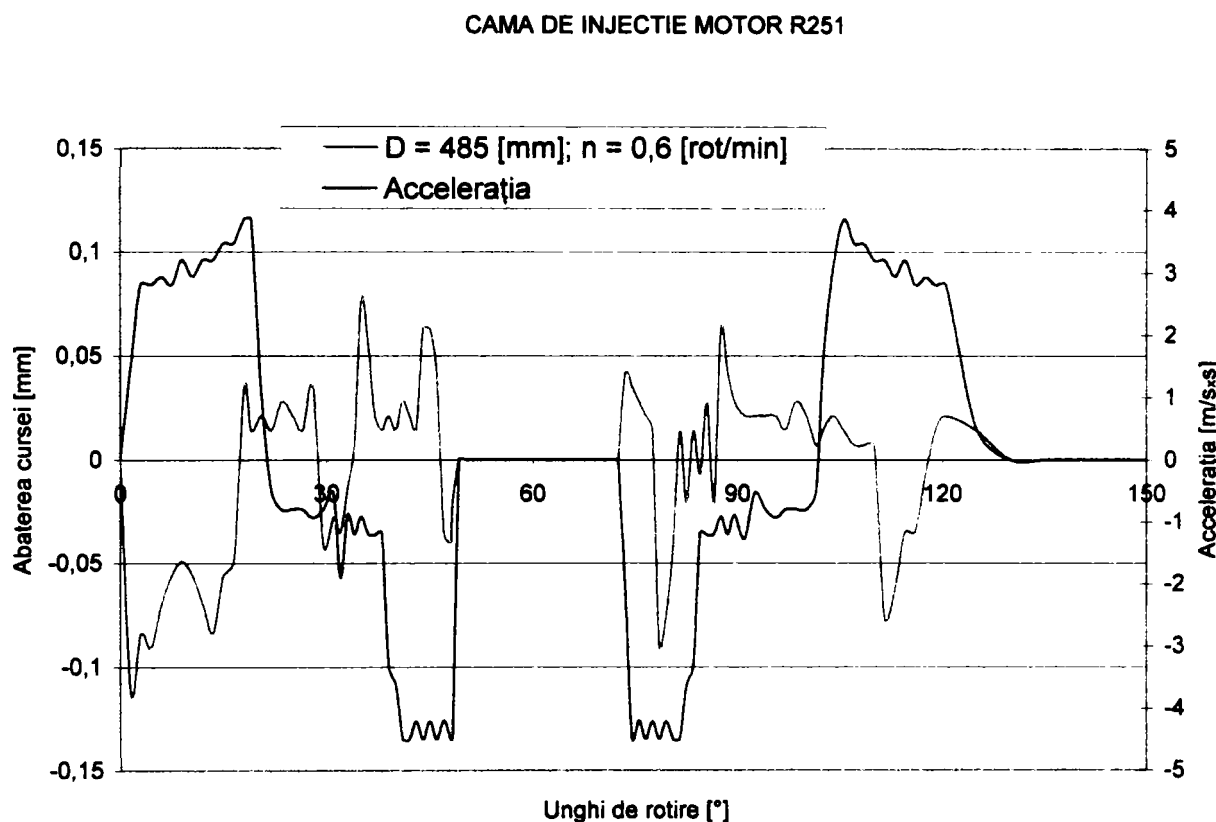


Fig. 4.14 Abaterile de la cursa nominală a tachelului în funcție de valoarea accelerației saniei de copiere a mașinii de rectificat

Ca și în cazul modificării turației, nivelul abaterilor s-a păstrat la același ordin de mărime și în cazul rectificării profilului camelor de admisie și evacuare ale motorului R251. De asemenea, în cazul utilizării discurilor abrazive în intervalele: 470...440 și 440...410 mm.

Turația maximă calculată pentru rotirea arborelui cu came în timpul prelucrării nu a putut fi utilizată. Deoarece, rectificând profilul camei cu această valoare, abaterile înregistrate depășesc valorile impuse prin documentația de execuție. Turația maximă care poate fi aplicată, pentru a menține abaterile cursei tachelului în limite acceptabile, este mult sub valoarea maximă impusă de construcția sistemului de copiere. Determinarea valorii maxime a turației arborelui cu came, în timpul rectificării profilului, s-a făcut pe cale experimentală. Aceasta depinde de factori impuși din condițiile de proiectare a mecanismului cu camă, și anume: de accelerația mecanismului cu camă, de valoarea unghiului de presiune și de toleranța cursei nominale a tachelului.

Domeniul de utilizare al diametrului discului abraziv se poate determina pe cale analitică. De asemenea, analitic se poate stabili numărul de șabloane necesar acoperirii domeniului de utilizare a discului abraziv. Pentru a micșora numărul de șabloane și a evita apariția unor abateri mai mari decât cele permise, este recomandată micșorarea turației când discul abraziv are valoarea diametrului apropiată de limitele de utilizare pentru un anumit șablon.

Pentru stabilirea corectă a parametrilor regimului de aşchiere la rectificarea profilului camei se porneşte de la analiza cinematică a mecanismului cu camă. Aceasta stă la baza stabilirii:

- legii de mişcare a mecanismului de copiere al maşinii de rectificat;
- turaţiei maxime ce poate fi aplicată camei în timpul procesului de aşchiere;
- diametrului maxim al discului abraziv;
- intervalului de dimensiuni în care poate fi utilizat discul abraziv şi aferent acestuia, numărul de şabloane.

Se urmăreşte obţinerea unei legi de mişcare la sania de copiere a maşinii de rectificat, care să asigure funcţionarea cu şocuri cât mai mici. Apariţia şocurilor în funcţionarea mecanismului de copiere provoacă vibraţii, care au ca efect creşterea abaterilor de la cursa nominală a tachetului.

Trebuie determinată turaţia maximă care se poate imprima arborelui cu came în timpul procesului de rectificare în aşa fel încât, să se asigure pe lângă precizia impusă profilului camei, şi productivitate maximă. O valoare redusă a turaţiei, deşi garantează obţinerea preciziei profilului, datorită unui contact prea îndelungat între camă şi discul abraziv, poate provoca apariţia fisurilor în stratul superficial al camei.

Diametrul maxim al discului abraziv trebuie ales la o valoare cât mai mare posibilă, ţinând cont de faptul că micşorarea diametrului prin uzare are loc într-un interval mai îndelungat de timp. Deasemenea, acest fapt conduce şi la micşorarea numărului de şabloane. Valoarea maximă a diametrului discului abraziv este limitată de construcţia maşinii de rectificat şi de raza de curbura minimă a profilului camei care se rectifică, dacă profilul acesteia prezintă zone concave.

4.2. Optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea finală a profilului la came individuale mari

4.2.1 Prezentarea instalaţiei experimentale

Rectificarea profilului camelor individuale de la motoarele Diesel de puteri mari tip MAN Burmeister&Wein şi MAN s-a efectuat utilizând maşină special proiectată şi executată, denumită RPK 600. Proiectarea s-a efectuat de către SIMTEX SA Bucureşti în colaborare cu UCM Reşiţa, fiind executată de către NAPOMAR Cluj-Napoca. Principalii parametri constructivi ai maşinii speciale de rectificat exterior profil came, tip RPK 600, sunt prezentaţi în tabelul 4.4.

Tabelul 4.4

Denumirea parametrului	Valoarea
Diametrul maxim al piesei de prelucrat [mm]	600
Distanţa maximă între vârfuri [mm]	350
Cursa maximă a saniei de copiere [mm]	100
Diametrul exterior maxim al discului abraziv [mm]	450
Lăţimea maximă a discului abraziv [mm]	120
Turaţiile discului abraziv [rot/min]	1440 şi 1910
Domeniul vitezei de avans longitudinal [m/min]	0...2
Domeniul vitezei de avans transversal [m/min]	0...0,8
Gama turaţiilor arborelui portpiesă [rot/min]	1...10
Puterea motorului electric de acţionare a pietrei [kW]	7

Constructiv, mașina de rectificat RPK 600 diferă de mașina de rectificat utilizată la rectificarea arborilor cu came monobloc, prin faptul că mișcarea de copiere este de oscilație. O imagine de ansamblu a mașinii este redată în figura 4.15.

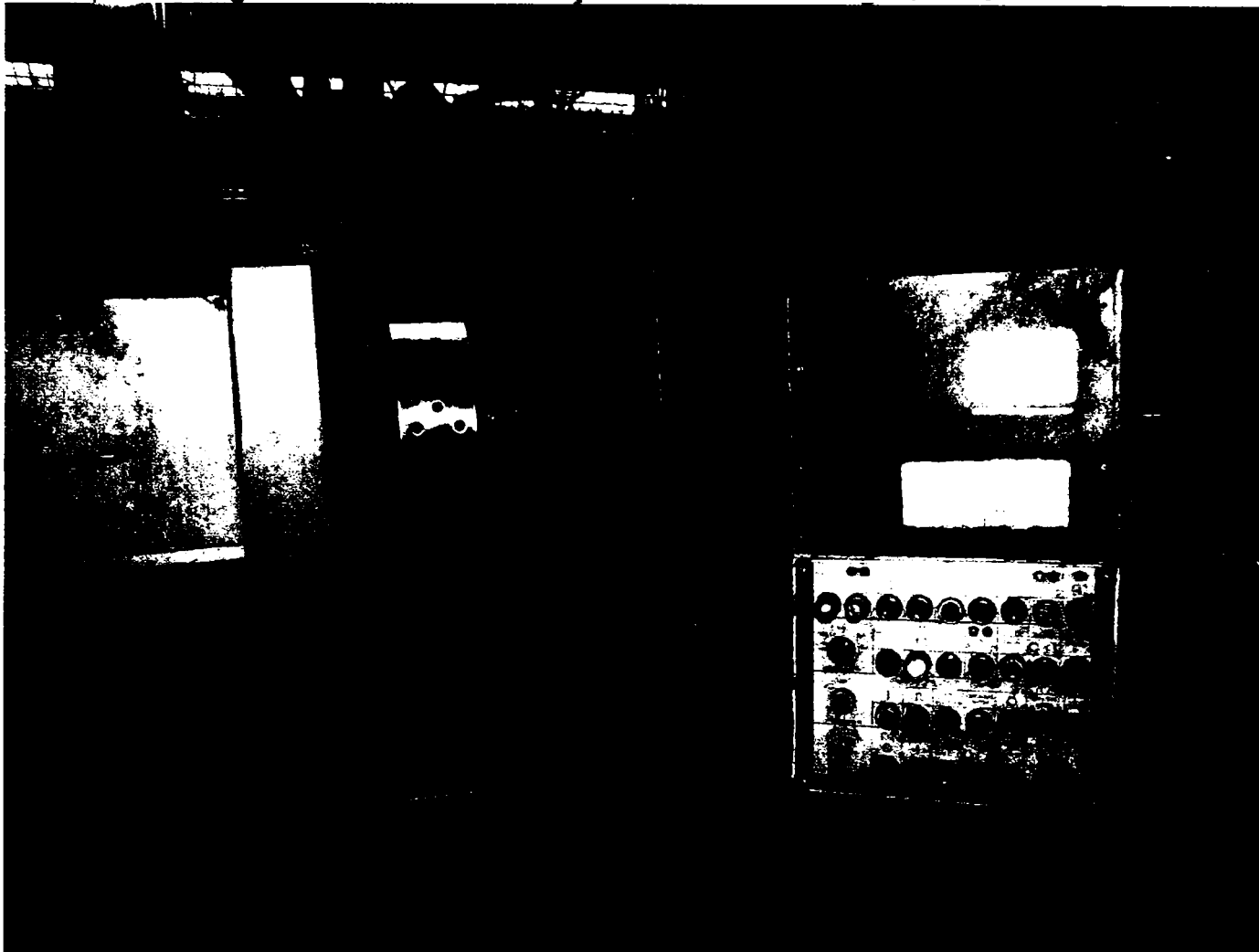


Fig. 4.15 Mașina specială de rectificat exterior profilul camelor tip RPK 600

Batiul mașinii se compune din două părți și anume: batiul anterior și batiul posterior, asamblate între ele prin șuruburi și știfturi. Pe partea superioară a batiului anterior sunt prelucrate suprafețe plane. Acestea servesc la prinderea ghidajelor fixe de rostogolire (cu role) pe care se deplasează masa longitudinală. Batiul posterior are prelucrate suprafețe plane pentru așezarea și susținerea mecanismului de avans transversal al păpușii port-piatră.

Masa longitudinală se poate deplasa pe ghidajele de rostogolire ale batiului asigurând poziționarea camei de prelucrat în dreptul discului abraziv. Pe masa longitudinală este montată masa oscilantă, care execută mișcarea de oscilare în jurul unor lagăre de rostogolire în vederea copierii profilului, de pe șablon pe cama care se prelucrează. Mișcarea de oscilare este determinată de contactul permanent dintre rola de palpăre și cama șablon, așa cum se poate observa și în figura 4.16. Contactul permanent este asigurat prin intermediul a două arcuri de tracțiune, reprezentate în figura 4.18.

Pe masa oscilantă este montat arborele port-șabloane. Acesta este coaxial cu cama de rectificat și cuprinde mai multe came șablon corespunzătoare camelor care se prelucrează. La unul din capetele arborelui port-șabloane se montează roata pentru curea dințată de antrenare în mișcare de rotație, reprezentată în figura 4.17. La

capătul opus este montat vârful cu antrenor, pentru prinderea și antrenarea în mișcare de rotație a dispozitivului pe care este fixată cama de relucrat.

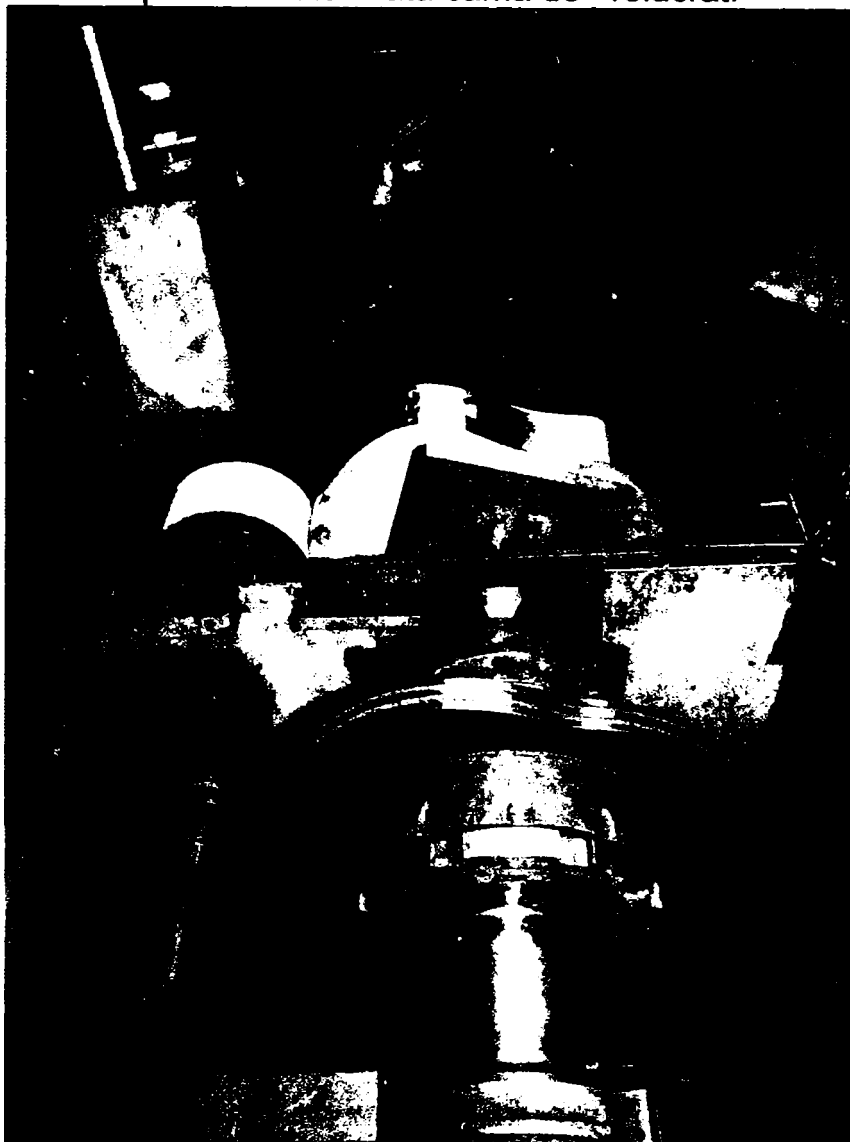


Fig. 4.16 Ansamblul rolă de palpăre - arbore port-șablon

Mișcarea de rotație se transmite, de la motorul de curent continuu la ansamblul cama de rectificat – arbore port-șabloane, prin intermediul unor transmisii cu curele, patru prin curele trapezoidale și una prin curea dințată. Astfel, se asigură valori ale turației camei de rectificat în intervalul 1...10 rot/min, reglabilă continuu. Motorul electric nu are numai rolul de a antrena cama în mișcare de rotație, acesta asigurând și frânarea în momentul rectificării zonelor de coborâre.

Rola de palpăre este montată pe un arbore în interiorul carcasei păpușii fixe. Prin intermediul unui mecanism, aceasta poate fi deplasată pe arborele de susținere, cu scopul de a fi poziționată pe șablonul corespunzător. În vederea evitării fenomenului de uzare a șablonului, contactul dintre acesta și rolă este în permanență lubrifiat cu ulei. Acesta ajunge în zona de contact printr-o țevă de la un dozator volumic al instalației de ungere a mașinii.

Mecanismul de avans transversal este compus în principal dintr-o parte fixă, solidară cu batiul posterior, și o parte mobilă, fixată pe sania păpușii port-piatră (reprezentată în figura 4.19), care se deplasează față de partea fixă pe ghidaje cu elemente de rostogolire. Avansul transversal intermitent este programat prin intermediul automatului programabil ce echipează mașina, incrementul minim fiind de 0,001 mm.

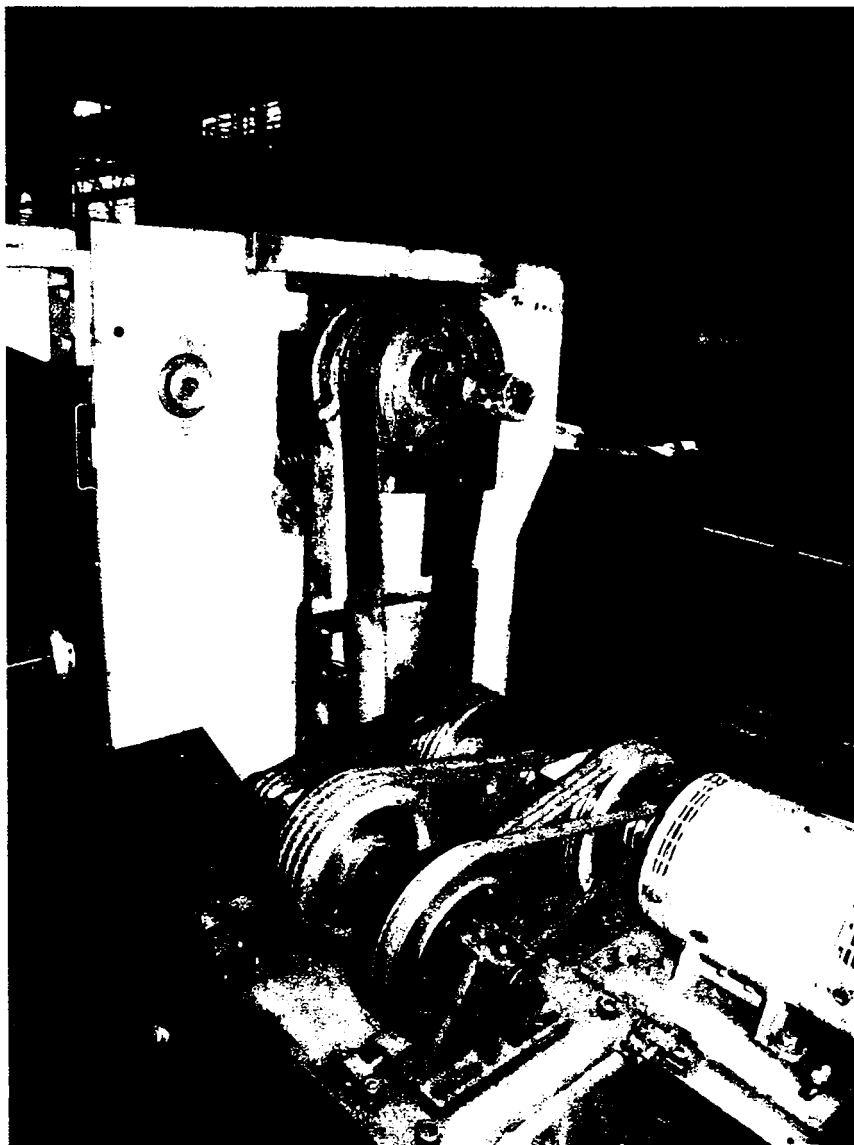


Fig. 4.17 Antrenarea în mișcare de rotație a ansamblului camă-arbore port-șablon

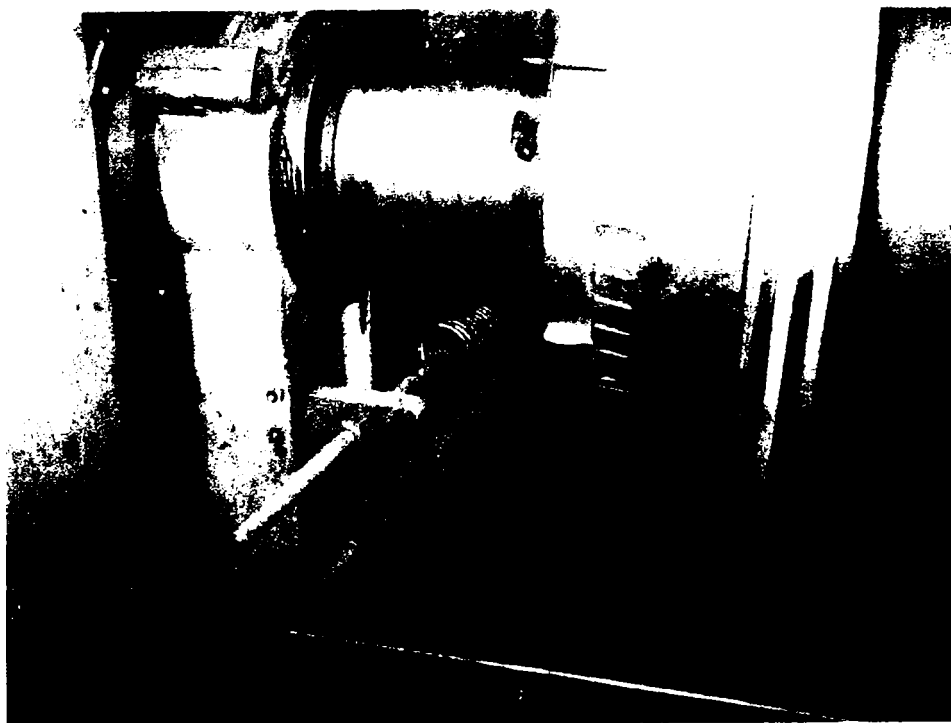


Fig. 4.18 Arcurile care asigură contactul permanent dintre rola de palpare și șablon

Pentru realizarea șabloanelor, mașina este echipată cu un dispozitiv de rectificat. Acesta se montează în locul arborelui port-rolă de palpăre și este antrenat în mișcare de rotație de motorul electric montat pe păpușa fixă, așa cum se poate observa în figura 4.20.

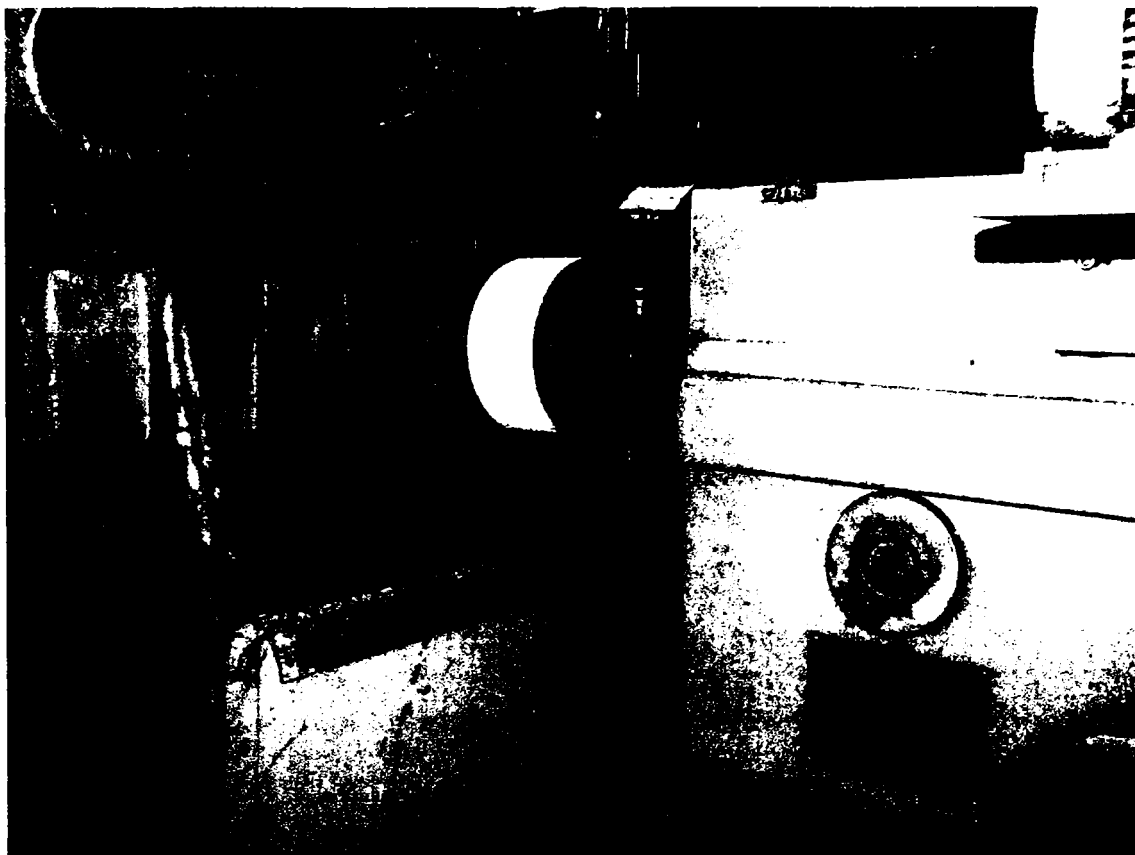


Fig. 4.19 Păpușa port-piatră a mașinii de rectificat profil came RPK 600

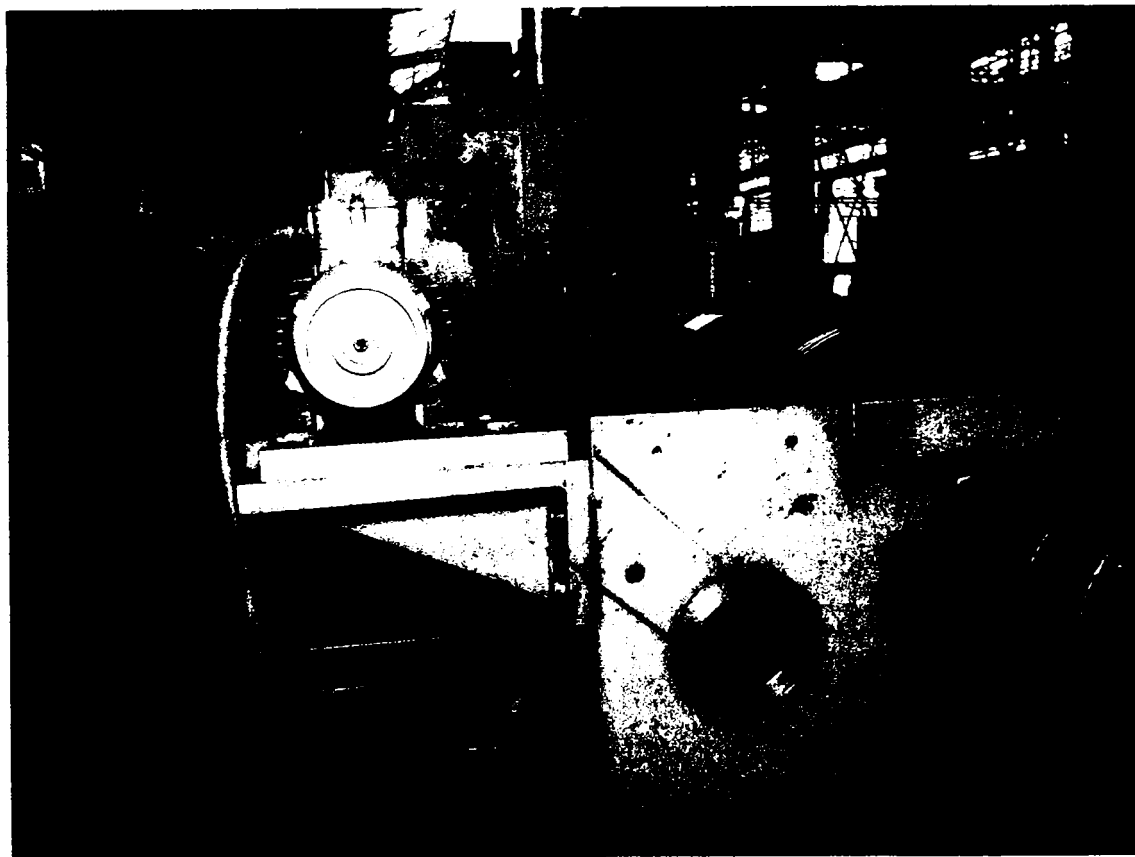


Fig. 4.20 Antrenarea dispozitivului de rectificare a șabloanelor

Pentru a reduce temperatura în zona de contact dintre discul abraziv și cama de rectificat, mașina este dotată cu o instalație de răcire. Aceasta cuprinde o instalație de vehiculare și epurare a lichidelor de răcire-ungere cu separator magnetic și hidrocicloane. Debitul nominal asigurat de instalația de răcire este de 100 l/min.

Automatul programabil asigură desfășurarea operației de rectificare în ciclu de lucru automat, alimentarea și evacuarea camelor făcându-se manual.

Controlul dimensional al camelor prelucrate s-a efectuat cu ajutorul dispozitivului prezentat în subcapitolul 3.2.1.

În cele ce urmează, se va prezenta calculul pentru optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea finală prin rectificare a profilului camei de injecție de la motoarele MAN Burmeister&Wein, tip L 42 MC. Pentru celelalte tipuri de came calculele de optimizare sunt parcurse în același mod. Abaterile de la profilul prescris, obținute în urma prelucrării cu regimurile de așchiere calculate, se mențin la același nivel.

4.2.2 Optimizarea alegerii calității discului abraziv

Itinerariu tehnologic aplicat camelor individuale pentru motoare Diesel de mare putere, executate din oțeluri de cementare, cuprinde următoarele operații:

- frezarea profilului camei, operație care s-a prezentat la subcapitolul 3.2;
- rectificare I a profilului camei, executată cu scopul de a îndepărta abaterile de la prelucrarea primară prin frezare și al uniformizării adaosului de prelucrare;
- cementarea, tratament termochimic ce se efectuează în scopul obținerii unui strat superficial, cu o adâncime de 3 mm, îmbogățit în carbon, ajungând până la $0,7 \div 1,1 \%$, care după călire să asigure obținere durității de minim 60 HRC;
- călire I, este efectuată cu scopul obținerii caracteristicilor mecanice ale miezului camei;
- rectificare II a profilului camei, executată cu scopul uniformizării adaosului de prelucrare, îndepărtând astfel eventualele deformații datorate tratamentelor termice anterioare;
- călire II, executată cu scopul durificării stratului superficial, cementat, al conturului camei;
- rectificare III a profilului camei, scopul acesteia fiind de a obține precizia dimensională dorită, atât pentru cotele de gabarit ale camei cât și a profilului, la rugozitatea prescrisă, fără defecte de material, respectând adâncimea și duritatea impusă stratului superficial.

Ținând cont de cele precizate la subcapitolul 2.5.1, de literatura de specialitate [102], de indicațiile fabricanților de corpuri abrazive[117; 118; 131], și pe baza experimentărilor efectuate pentru cele trei operații de rectificare, s-au stabilit pentru discurile abrazive caracteristicile prezentate în tabelul 4.5.

Tabel 4.5

Caracteristici	Rectificare I	Rectificare II	Rectificare III
Material abraziv	Electrocorindon:33A	Electrocorindon:33A	Electrocorindon:89A
Granulație	Fină: 46	Fină: 60	Fină: 80
Duritate	Mijlocie :N	Moale :G	Moale :J
Structura	Medie: 8	Medie: 7	Deschisă: 12
Liant	Vulcanitic: V217	Vulcanitic: V217	Vulcanitic: V217
Simbol disc abraziv	33A 46 N8 V217	33A 60 G7 V217	89A 80 J12 V217

Pentru cele trei operații de rectificare materialul abraziv este corindonul artificial de mare puritate. Granulația s-a stabilit în așa fel, încât să asigure rugozitatea prescrisă. Duritatea și structura s-au ales în concordanță cu duritatea suprafeței prelucrate și în funcție de tipul operației de rectificare.

4.2.3 Optimizarea alegerii diametrului discului abraziv

Pentru a determina valoarea diametrului discului abraziv este necesară efectuarea analizei cinematice a mecanismului cu camă. Utilizând programul descris la subcapitolul 3.1.2, și introducând datele corespunzătoare mecanismului cu camă de injecție de la motorul Diesel MAN Burmeister&Wein, tip L 42 MC, s-au obținut parametrii cinematici prezentați în tabelul 4.6.

Tabelul 4.6

Unghi de rotire φ [°]	Raza polară ρ [mm]	Cursa s [mm]	Viteza v [m/s]	Accelerația a [m/s ²]	Raza de curbură
0	180	0	0	0	180.000
1	180.133	0.133	0.285	211.800	-112.445
2	180.54	0.54	0.579	218.757	-113.338
3	181.23	1.23	0.856	187.064	-131.742
4	182.162	2.162	1.058	107.446	-247.046
5	183.233	3.233	1.151	29.374	492.560
6	184.342	4.342	1.172	1.546	179.476
7	185.453	5.453	1.173	-0.773	169.931
8	186.563	6.563	1.172	-0.773	171.064
9	187.672	7.672	1.171	0.000	175.661
10	188.781	8.781	1.171	-0.773	173.316
11	189.889	9.889	1.170	0.000	177.930
12	190.997	10.997	1.170	-0.773	175.567
13	192.104	12.104	1.169	0.000	180.198
14	193.211	13.211	1.168	-0.773	177.817
15	194.317	14.317	1.168	0.000	182.464
16	195.423	15.423	1.167	-0.773	180.066
17	196.528	16.528	1.167	0.000	184.729
18	197.633	17.633	1.166	-0.773	182.314
19	198.737	18.737	1.166	0.000	186.993
20	199.841	19.841	1.165	-0.773	184.561
21	200.944	20.944	1.165	0.000	189.255
22	202.047	22.047	1.165	0.000	190.378
23	203.15	23.15	1.164	-0.773	187.923
24	204.252	24.252	1.163	-0.773	189.052
25	205.353	25.353	1.163	0.773	197.476
26	206.455	26.455	1.163	-0.773	191.282
27	207.556	27.556	1.162	-0.773	192.410
28	208.656	28.656	1.162	0.000	197.156
29	209.756	29.756	1.162	0.000	198.277
30	210.856	30.856	1.160	-2.319	188.801
31	211.953	31.953	1.152	-10.049	160.005

32	213.037	33.037	1.128	-23.963	121.776
33	214.09	34.09	1.086	-37.877	94.770
34	215.094	35.094	1.029	-46.380	81.754
35	216.038	36.038	0.965	-47.153	80.634
36	216.921	36.921	0.900	-47.153	80.600
37	217.743	37.743	0.836	-46.380	81.688
38	218.505	38.505	0.774	-45.607	82.821
39	219.208	39.208	0.711	-46.380	81.686
40	219.851	39.851	0.648	-44.834	84.008
41	220.436	40.436	0.587	-45.607	82.857
42	220.962	40.962	0.525	-44.834	84.053
43	221.43	41.43	0.464	-44.834	84.076
44	221.84	41.84	0.403	-44.061	85.308
45	222.193	42.193	0.342	-44.834	84.121
46	222.488	42.488	0.282	-42.515	87.851
47	222.728	42.728	0.223	-44.834	84.160
48	222.91	42.91	0.164	-40.969	90.491
49	223.039	43.039	0.112	-35.558	100.375
50	223.122	43.122	0.071	-23.963	126.691
51	223.174	43.174	0.048	-10.049	172.661
52	223.213	43.213	0.040	-2.319	209.676
53	223.249	43.249	0.037	-0.773	218.578
54	223.284	43.284	0.037	0.000	223.269
55	223.319	43.319	0.036	-0.773	218.648
56	223.353	43.353	0.036	0.000	223.339
57	223.387	43.387	0.036	0.000	223.373
58	223.421	43.421	0.036	0.000	223.407
59	223.455	43.455	0.036	0.000	223.441
60	223.489	43.489	0.035	-0.773	218.819
61	223.522	43.522	0.035	0.000	223.509
62	223.555	43.555	0.034	-0.773	218.886
63	223.587	43.587	0.034	0.773	228.390
64	223.62	43.62	0.034	-0.773	218.951
65	223.652	43.652	0.034	0.000	223.640
66	223.684	43.684	0.033	-0.773	219.015
67	223.715	43.715	0.033	0.000	223.703
68	223.746	43.746	0.033	0.000	223.734
69	223.777	43.777	0.033	0.000	223.765
70	223.808	43.808	0.032	-0.773	219.140
71	223.838	43.838	0.032	0.000	223.827
72	223.868	43.868	0.032	0.000	223.857
73	223.898	43.898	0.032	0.000	223.887
74	223.928	43.928	0.031	-0.773	219.261
75	223.957	43.957	0.031	0.000	223.947
76	223.986	43.986	0.031	0.000	223.976
77	224.015	44.015	0.030	-0.773	219.348
78	224.043	44.043	0.030	0.773	228.849

79	224.072	44.072	0.030	-1.546	214.900
80	224.099	44.099	0.029	0.773	228.906
81	224.127	44.127	0.029	-0.773	219.461
82	224.154	44.154	0.029	0.000	224.145
83	224.181	44.181	0.029	0.000	224.172
84	224.208	44.208	0.029	0.000	224.199
85	224.235	44.235	0.028	-0.773	219.569
86	224.261	44.261	0.027	0.000	224.253
87	224.287	44.287	0.027	0.000	224.279
88	224.313	44.313	0.027	-0.773	219.648
89	224.338	44.338	0.026	0.000	224.330
90	224.363	44.363	0.026	0.000	224.355
91	224.388	44.388	0.026	0.000	224.380
92	224.413	44.413	0.026	-0.773	219.749
93	224.437	44.437	0.025	0.000	224.430
94	224.461	44.461	0.025	0.000	224.454
95	224.485	44.485	0.025	-0.773	219.821
96	224.508	44.508	0.024	0.000	224.502
97	224.531	44.531	0.024	0.000	224.525
98	224.554	44.554	0.024	0.000	224.548
99	224.577	44.577	0.024	-0.773	219.914
100	224.599	44.599	0.023	0.000	224.593
101	224.621	44.621	0.023	0.000	224.615
102	224.643	44.643	0.023	-0.773	219.980
103	224.664	44.664	0.023	0.773	229.474
104	224.686	44.686	0.023	-0.773	220.023
105	224.707	44.707	0.022	-0.773	220.045
106	224.727	44.727	0.022	0.773	229.538
107	224.748	44.748	0.022	-0.773	220.085
108	224.768	44.768	0.021	0.000	224.763
109	224.788	44.788	0.021	-0.773	220.126
110	224.807	44.807	0.021	0.773	229.619
111	224.827	44.827	0.021	-0.773	220.165
112	224.846	44.846	0.020	-0.773	220.184
113	224.864	44.864	0.020	0.773	229.676
114	224.883	44.883	0.020	-0.773	220.221
115	224.901	44.901	0.019	0.000	224.897
116	224.919	44.919	0.018	-0.773	220.258
117	224.936	44.936	0.018	0.773	229.748
118	224.954	44.954	0.018	-0.773	220.293
119	224.971	44.971	0.018	0.000	224.968
120	224.988	44.988	0.017	-0.773	220.327
121	225.004	45.004	0.017	0.000	225.001
122	225.02	45.02	0.017	0.000	225.017
123	225.036	45.036	0.017	0.000	225.033
124	225.052	45.052	0.016	-0.773	220.391
125	225.067	45.067	0.016	0.773	229.880

126	225.083	45.083	0.016	-1.546	215.916
127	225.097	45.097	0.015	0.773	229.911
128	225.112	45.112	0.015	-0.773	220.452
129	225.126	45.126	0.015	0.000	225.124
130	225.14	45.14	0.015	0.000	225.138
131	225.154	45.154	0.014	-0.773	220.494
132	225.167	45.167	0.014	0.773	229.981
133	225.181	45.181	0.014	-0.773	220.521
134	225.194	45.194	0.013	-0.773	220.534
135	225.206	45.206	0.013	0.000	225.204
136	225.218	45.218	0.013	0.773	230.032
137	225.231	45.231	0.013	-1.546	216.064
138	225.242	45.242	0.012	0.773	230.057
139	225.254	45.254	0.012	-0.773	220.595
140	225.265	45.265	0.012	0.000	225.264
141	225.276	45.276	0.012	0.000	225.275
142	225.287	45.287	0.011	-0.773	220.628
143	225.297	45.297	0.011	0.000	225.296
144	225.307	45.307	0.011	0.000	225.306
145	225.317	45.317	0.011	0.000	225.316
146	225.327	45.327	0.010	-0.773	220.668
147	225.336	45.336	0.010	0.000	225.335
148	225.345	45.345	0.010	0.000	225.344
149	225.354	45.354	0.009	-0.773	220.695
150	225.362	45.362	0.008	0.000	225.361
151	225.37	45.37	0.008	0.000	225.369
152	225.378	45.378	0.008	0.000	225.377
153	225.386	45.386	0.008	-0.773	220.727
154	225.393	45.393	0.007	0.000	225.392
155	225.4	45.4	0.007	0.000	225.399
156	225.407	45.407	0.007	0.000	225.406
157	225.414	45.414	0.007	-0.773	220.756
158	225.42	45.42	0.006	0.000	225.420
159	225.426	45.426	0.006	0.000	225.426
160	225.432	45.432	0.006	-0.773	220.774
161	225.437	45.437	0.005	0.000	225.437
162	225.442	45.442	0.005	0.000	225.442
163	225.447	45.447	0.005	-0.773	220.789
164	225.451	45.451	0.005	0.773	230.267
165	225.456	45.456	0.005	-0.773	220.798
166	225.46	45.46	0.004	0.000	225.460
167	225.464	45.464	0.004	-0.773	220.806
168	225.467	45.467	0.003	0.000	225.467
169	225.47	45.47	0.003	0.000	225.470
170	225.473	45.473	0.003	0.000	225.473
171	225.476	45.476	0.003	-0.773	220.818
172	225.478	45.478	0.002	0.000	225.478

173	225.48	45.48	0.002	0.000	225.480
174	225.482	45.482	0.002	0.000	225.482
175	225.484	45.484	0.002	-0.773	220.826
176	225.485	45.485	0.001	0.000	225.485
177	225.486	45.486	0.001	-0.773	220.828
178	225.486	45.486	0.001	0.773	230.302
179	225.487	45.487	0.001	-0.773	220.829
180	225.487	45.487	0.000	0.000	225.487
181	225.487	45.487	-0.001	-0.773	220.829
182	225.486	45.486	-0.001	0.773	230.302
183	225.486	45.486	-0.001	-0.773	220.828
184	225.485	45.485	-0.001	0.000	225.485
185	225.484	45.484	-0.002	-0.773	220.826
186	225.482	45.482	-0.002	0.000	225.482
187	225.48	45.48	-0.002	0.000	225.480
188	225.478	45.478	-0.002	0.000	225.478
189	225.476	45.476	-0.003	-0.773	220.818
190	225.473	45.473	-0.003	0.000	225.473
191	225.47	45.47	-0.003	0.000	225.470
192	225.467	45.467	-0.003	0.000	225.467
193	225.464	45.464	-0.004	-0.773	220.806
194	225.46	45.46	-0.004	0.000	225.460
195	225.456	45.456	-0.005	-0.773	220.798
196	225.451	45.451	-0.005	0.773	230.267
197	225.447	45.447	-0.005	-0.773	220.789
198	225.442	45.442	-0.005	0.000	225.442
199	225.437	45.437	-0.005	0.000	225.437
200	225.432	45.432	-0.006	-0.773	220.774
201	225.426	45.426	-0.006	0.000	225.426
202	225.42	45.42	-0.006	0.000	225.420
203	225.414	45.414	-0.007	-0.773	220.756
204	225.407	45.407	-0.007	0.000	225.406
205	225.4	45.4	-0.007	0.000	225.399
206	225.393	45.393	-0.007	0.000	225.392
207	225.386	45.386	-0.008	-0.773	220.727
208	225.378	45.378	-0.008	0.000	225.377
209	225.37	45.37	-0.008	0.000	225.369
210	225.362	45.362	-0.008	0.000	225.361
211	225.354	45.354	-0.009	-0.773	220.695
212	225.345	45.345	-0.010	0.000	225.344
213	225.336	45.336	-0.010	0.000	225.335
214	225.327	45.327	-0.010	-0.773	220.668
215	225.317	45.317	-0.011	0.000	225.316
216	225.307	45.307	-0.011	0.000	225.306
217	225.297	45.297	-0.011	0.000	225.296
218	225.287	45.287	-0.011	-0.773	220.628
219	225.276	45.276	-0.012	0.000	225.275

220	225.265	45.265	-0.012	0.000	225.264
221	225.254	45.254	-0.012	-0.773	220.595
222	225.242	45.242	-0.012	0.773	230.057
223	225.231	45.231	-0.013	-1.546	216.064
224	225.218	45.218	-0.013	0.773	230.032
225	225.206	45.206	-0.013	0.000	225.204
226	225.194	45.194	-0.013	-0.773	220.534
227	225.181	45.181	-0.014	-0.773	220.521
228	225.167	45.167	-0.014	0.773	229.981
229	225.154	45.154	-0.014	-0.773	220.494
230	225.14	45.14	-0.015	0.000	225.138
231	225.126	45.126	-0.015	0.000	225.124
232	225.112	45.112	-0.015	-0.773	220.452
233	225.097	45.097	-0.015	0.773	229.911
234	225.083	45.083	-0.016	-1.546	215.916
235	225.067	45.067	-0.016	0.773	229.880
236	225.052	45.052	-0.016	-0.773	220.391
237	225.036	45.036	-0.017	0.000	225.033
238	225.02	45.02	-0.017	0.000	225.017
239	225.004	45.004	-0.017	0.000	225.001
240	224.988	44.988	-0.017	-0.773	220.327
241	224.971	44.971	-0.018	0.000	224.968
242	224.954	44.954	-0.018	-0.773	220.293
243	224.936	44.936	-0.018	0.773	229.748
244	224.919	44.919	-0.018	-0.773	220.258
245	224.901	44.901	-0.019	0.000	224.897
246	224.883	44.883	-0.020	-0.773	220.221
247	224.864	44.864	-0.020	0.773	229.676
248	224.846	44.846	-0.020	-0.773	220.184
249	224.827	44.827	-0.021	-0.773	220.165
250	224.807	44.807	-0.021	0.773	229.619
251	224.788	44.788	-0.021	-0.773	220.126
252	224.768	44.768	-0.021	0.000	224.763
253	224.748	44.748	-0.022	-0.773	220.085
254	224.727	44.727	-0.022	0.773	229.538
255	224.707	44.707	-0.022	-0.773	220.045
256	224.686	44.686	-0.023	-0.773	220.023
257	224.664	44.664	-0.023	0.773	229.474
258	224.643	44.643	-0.023	-0.773	219.980
259	224.621	44.621	-0.023	0.000	224.615
260	224.599	44.599	-0.023	0.000	224.593
261	224.577	44.577	-0.024	-0.773	219.914
262	224.554	44.554	-0.024	0.000	224.548
263	224.531	44.531	-0.024	0.000	224.525
264	224.508	44.508	-0.024	0.000	224.502
265	224.485	44.485	-0.025	-0.773	219.821
266	224.461	44.461	-0.025	0.000	224.454

267	224.437	44.437	-0.025	0.000	224.430
268	224.413	44.413	-0.026	-0.773	219.749
269	224.388	44.388	-0.026	0.000	224.380
270	224.363	44.363	-0.026	0.000	224.355
271	224.338	44.338	-0.026	0.000	224.330
272	224.313	44.313	-0.027	-0.773	219.648
273	224.287	44.287	-0.027	0.000	224.279
274	224.261	44.261	-0.027	0.000	224.253
275	224.235	44.235	-0.028	-0.773	219.569
276	224.208	44.208	-0.029	0.000	224.199
277	224.181	44.181	-0.029	0.000	224.172
278	224.154	44.154	-0.029	0.000	224.145
279	224.127	44.127	-0.029	-0.773	219.461
280	224.099	44.099	-0.029	0.773	228.906
281	224.072	44.072	-0.030	-1.546	214.900
282	224.043	44.043	-0.030	0.773	228.849
283	224.015	44.015	-0.030	-0.773	219.348
284	223.986	43.986	-0.031	0.000	223.976
285	223.957	43.957	-0.031	0.000	223.947
286	223.928	43.928	-0.031	-0.773	219.261
287	223.898	43.898	-0.032	0.000	223.887
288	223.868	43.868	-0.032	0.000	223.857
289	223.838	43.838	-0.032	0.000	223.827
290	223.808	43.808	-0.032	-0.773	219.140
291	223.777	43.777	-0.033	0.000	223.765
292	223.746	43.746	-0.033	0.000	223.734
293	223.715	43.715	-0.033	0.000	223.703
294	223.684	43.684	-0.033	-0.773	219.015
295	223.652	43.652	-0.034	0.000	223.640
296	223.62	43.62	-0.034	-0.773	218.951
297	223.587	43.587	-0.034	0.773	228.390
298	223.555	43.555	-0.034	-0.773	218.886
299	223.522	43.522	-0.035	0.000	223.509
300	223.489	43.489	-0.035	-0.773	218.819
301	223.455	43.455	-0.036	0.000	223.441
302	223.421	43.421	-0.036	0.000	223.407
303	223.387	43.387	-0.036	0.000	223.373
304	223.353	43.353	-0.036	0.000	223.339
305	223.319	43.319	-0.036	-0.773	218.648
306	223.284	43.284	-0.037	0.000	223.269
307	223.249	43.249	-0.037	-0.773	218.578
308	223.213	43.213	-0.040	-2.319	209.676
309	223.174	43.174	-0.048	-10.049	172.661
310	223.122	43.122	-0.071	-23.963	126.691
311	223.039	43.039	-0.112	-35.558	100.375
312	222.91	42.91	-0.164	-40.969	90.491
313	222.728	42.728	-0.223	-44.834	84.160

314	222.488	42.488	-0.282	-42.515	87.851
315	222.193	42.193	-0.342	-44.834	84.121
316	221.84	41.84	-0.403	-44.061	85.308
317	221.43	41.43	-0.464	-44.834	84.076
318	220.962	40.962	-0.525	-44.834	84.053
319	220.436	40.436	-0.587	-45.607	82.857
320	219.851	39.851	-0.648	-44.834	84.008
321	219.208	39.208	-0.711	-46.380	81.686
322	218.505	38.505	-0.774	-45.607	82.821
323	217.743	37.743	-0.836	-46.380	81.688
324	216.921	36.921	-0.900	-47.153	80.600
325	216.038	36.038	-0.965	-47.153	80.634
326	215.094	35.094	-1.029	-46.380	81.754
327	214.09	34.09	-1.086	-37.877	94.770
328	213.037	33.037	-1.128	-23.963	121.776
329	211.953	31.953	-1.152	-10.049	160.005
330	210.856	30.856	-1.160	-2.319	188.801
331	209.756	29.756	-1.162	0.000	198.277
332	208.656	28.656	-1.162	0.000	197.156
333	207.556	27.556	-1.162	-0.773	192.410
334	206.455	26.455	-1.163	-0.773	191.282
335	205.353	25.353	-1.163	0.773	197.476
336	204.252	24.252	-1.163	-0.773	189.052
337	203.15	23.15	-1.164	-0.773	187.923
338	202.047	22.047	-1.165	0.000	190.378
339	200.944	20.944	-1.165	0.000	189.255
340	199.841	19.841	-1.165	-0.773	184.561
341	198.737	18.737	-1.166	0.000	186.993
342	197.633	17.633	-1.166	-0.773	182.314
343	196.528	16.528	-1.167	0.000	184.729
344	195.423	15.423	-1.167	-0.773	180.066
345	194.317	14.317	-1.168	0.000	182.464
346	193.211	13.211	-1.168	-0.773	177.817
347	192.104	12.104	-1.169	0.000	180.198
348	190.997	10.997	-1.170	-0.773	175.567
349	189.889	9.889	-1.170	0.000	177.930
350	188.781	8.781	-1.171	-0.773	173.316
351	187.672	7.672	-1.171	0.000	175.661
352	186.563	6.563	-1.172	-0.773	171.064
353	185.453	5.453	-1.173	-0.773	169.931
354	184.342	4.342	-1.172	1.546	179.476
355	183.233	3.233	-1.151	29.374	492.560
356	182.162	2.162	-1.058	107.446	-247.046
357	181.23	1.23	-0.856	187.064	-131.742
358	180.54	0.54	-0.579	218.757	-113.338
359	180.133	0.133	-0.285	211.800	-112.445
360	180	0	-0.140	102.808	-203.388

CAMA DE INJECTIE MOTOR L 42 MC

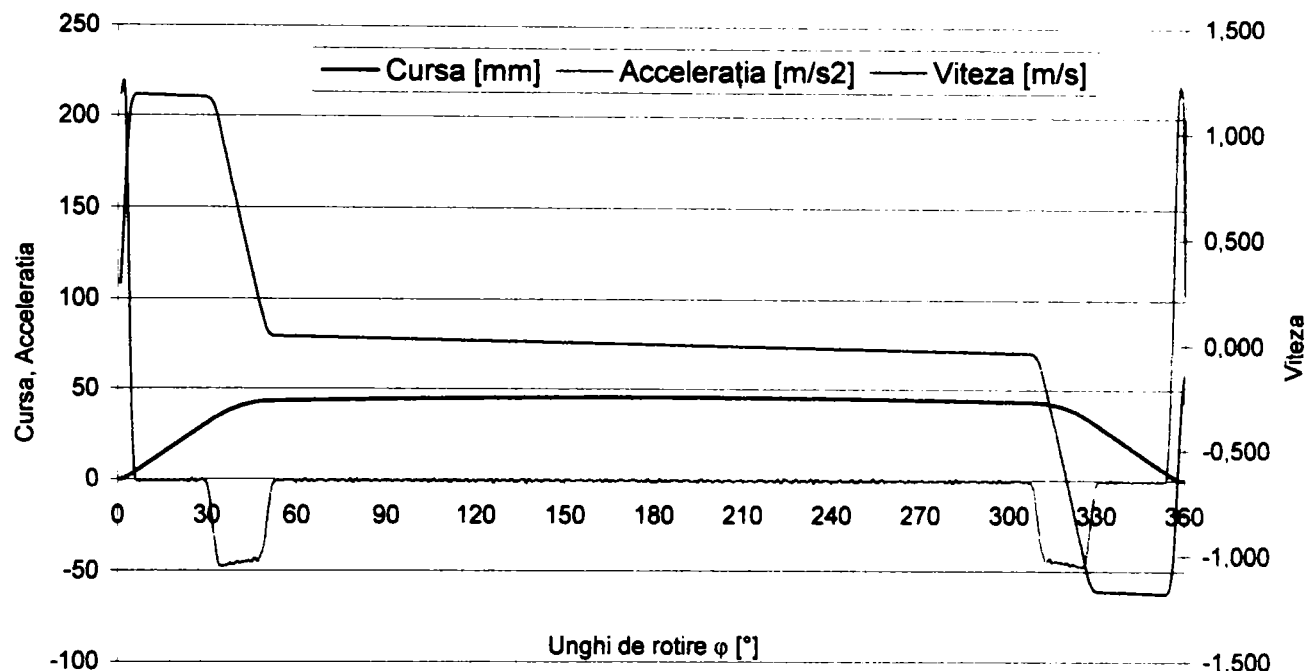


Fig. 4.21 Diagrama curselor, vitezelor și accelerațiilor tachelului pompei de injecție de la motorul Diesel MAN Burmeister&Wein, tip L 42 MC

Legea de mișcare a tachelului pompei de injecție și diagramele vitezelor și accelerațiilor sunt reprezentate în figura 4.21.

Urmărind evoluția valorilor razei de curbură se poate observa că profilul camei are o zonă concavă, situată în intervalul $356^\circ \div 4^\circ$. În această zonă raza minimă de curbură a profilului este de 112,445 mm, ceea ce înseamnă că diametrul maxim al discului abraziv ce poate fi utilizat la rectificarea profilului camei de injecție este de 224,89 mm.

Nu este posibilă utilizarea unui disc abraziv având valoarea diametrului exterior foarte apropiată de valoarea razei minime de curbură a profilului. Deoarece, la rectificarea zonei concave, lungimea de contact dintre profilul camei și discul abraziv este mare, aceasta presupune un contact îndelungat. Datorită acestuia se pot produce supraîncălziri puternice ale zonei respective, având ca efect apariția fisurilor în stratul superficial. De asemenea, așa cum a fost prezentat și în subcapitolul 2.5.2.2, în situația în care raza discului abraziv este egală cu raza de curbură minimă, accelerația mesei oscilante tinde către infinit, apărând un șoc dur în funcționarea mecanismului de copiere al mașinii.

Ținând cont de aceste aspecte și de dimensiunile standardizate ale corpurilor abrazive, s-a ales valoarea maximă a diametrului discului abraziv de 200 mm.

Pornind de la această valoare a diametrului exterior maxim al discului abraziv, trebuie să fie stabilite limitele intervalului de diametre în care se poate utiliza discul abraziv, astfel încât să se obțină precizia dimensională (prezentată în subcapitolul 2.6.1, figura 2.70 și tabelul 2.8) impusă acestei came.

Pentru stabilirea acestui interval se procedează astfel:

- se determină legea de mișcare a mesei oscilante a mașinii de rectificat. Pentru aceasta, s-a întocmit o foaie de calcul în programul EXCEL, utilizând formulele (2.72) și (2.78), și ținând cont de faptul că raza de oscilație a mesei mașinii de

rectificat are valoarea de 600 mm. Astfel, s-au calculat coordonatele polare, care definesc legea de mișcare și accelerația mesei oscilante (reprezentată în figura 4.22). Analizând diagrama accelerațiilor mesei oscilante, se poate constata că, la turația maximă a camei de prelucrat, apar doar șocuri elastice.

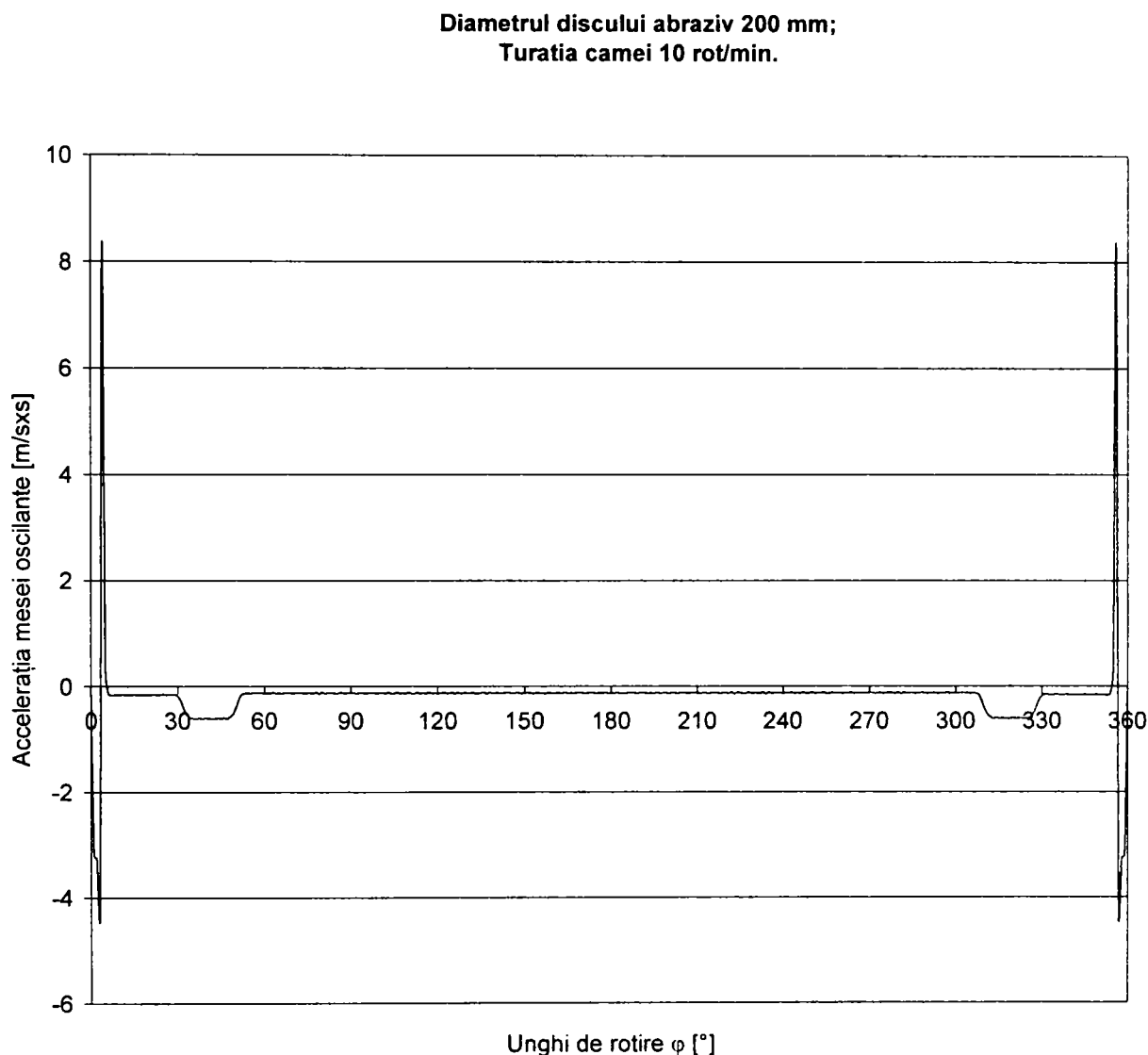


Fig. 4.22 Diagrama accelerațiilor mesei oscilante a mașinii de rectificat

- prin diminuarea și mărirea diametrului s-au calculat coordonatele teoretice ale profilului, ca și în cazul rectificării arborilor cu came monobloc, s-au comparat coordonatele obținute prin calcul cu cele prescrise. S-a stabilit că pentru o uzare a discului abraziv de 15 mm abaterile calculate se mențin în limitele prescrise.
- luând în considerare faptul că, diametrul interior al discului abraziv este de 127 mm, s-a stabilit intervalul total de utilizare a diametrului discului abraziv ca fiind cuprins între 200 și 155 mm. Pentru utilizarea discului abraziv în acest interval fiind necesară confecționarea a trei șabloane, utilizând pentru rolele instalate în locul discului abraziv următoarele valori: 192,5; 177,5 și 162,5 mm. Detaliile referitoare la domeniile de utilizare a discului abraziv, în funcție de diametru, sunt prezentate în tabelul 4.7.

Utilizând valorile prezentate mai înainte, s-a executat un set de trei șabloane, pentru rectificarea profilului camei. Pe măsură ce diametrul discului abraziv descrește, datorită uzării, rola de palpare este deplasată și sprijinită pe șablonul aferent valorii diametrului discului abraziv.

Tabelul 4.7

	Șablon nr.1	Șablon nr.2	Șablon nr.3
Diametrul maxim al discului abraziv	200 mm	185 mm	170 mm
Diametrul minim al discului abraziv	185 mm	170 mm	155 mm
Diametrul rolei utilizate la rectificarea șablon	192,5 mm	177,5 mm	162,5 mm

4.2.4 Optimizarea vitezei de așchiere, a turației piesei și a avansului de pătrundere

Viteza de așchiere se calculează cu formula (4.1) ținând cont de faptul că turația de antrenare în mișcare de rotație a arborelui principal este de 1410 sau 1910 rot/min. Luând în considerare faptul că diametrul discului abraziv poate avea valori cuprinse în intervalul 155...200 mm, și efectuând calculele pentru cele două turații menționate mai înainte se constată că, viteza de așchiere are valori cuprinse între 11,4 și 20 m/s. Valoarea maximă determinată pentru viteza de așchiere fiind mai mică decât cea recomandată în literatura de specialitate și de către fabricanții de corpuri abrazive (30...40 m/s), s-a stabilit că se va utiliza doar transmisia cu curele care asigură la arborele principal turația de 1910 rot/min. Cu această turație a discului abraziv, viteza de așchiere va avea valori cuprinse în intervalul 20 și 15,5 m/s, aceasta scăzând odată cu micșorarea prin uzare a diametrului corpului abraziv.

Turația maximă a camei s-a determinat experimental, ceea ce este posibil de determinat și analitic. Datorită multitudinii de factori care intervin în procesul de rectificare prin copiere, eroarea la determinarea valorii maxime a turației pe cale analitică este mare.

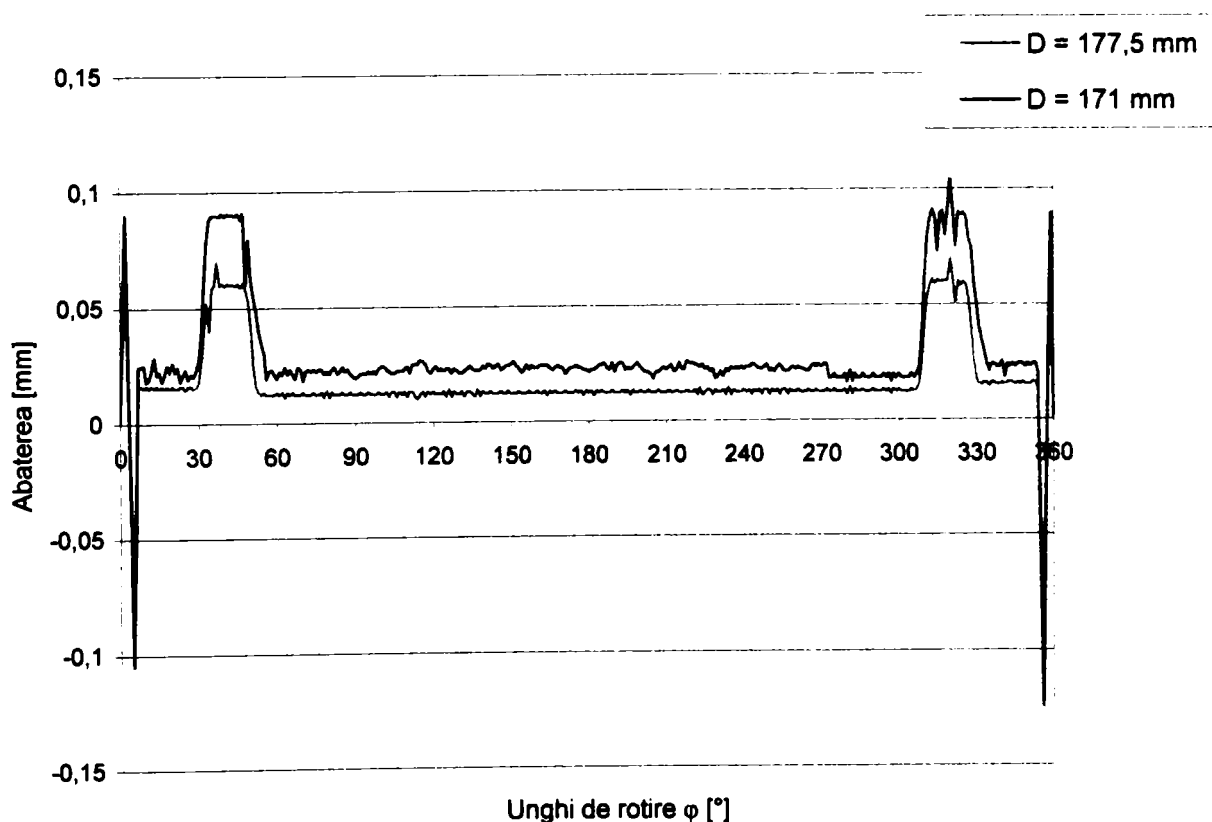


Fig. 4.23 Influența diametrului discului abraziv asupra abaterilor cursei nominale a tchetului pompei de injecție de la motorul Diesel L42 MC

Pentru determinarea pe cale analitică a turației maxime a camei s-au rectificat final profile ale camelor, cu turații diferite. Pentru a nu suprapune erorile, datorate modificării prin uzare a diametrului discului abraziv, cu cele provenite din modificarea turației, s-au folosit la rectificarea finală a profilului discuri cu diametre situate la limitele intervalelor de utilizare. Menținând turația constantă la rectificarea conturului camei s-au obținut abateri mai mari folosind un disc abraziv având diametrul apropiat de limita intervalului de utilizare, față de unul având diametrul egal cu cel al rolei utilizate la confecționarea șablonului. Acest lucru se poate observa în figura 4.23.

Astfel, s-a stabilit că la o turație de 5 rot/min, abaterile de la cursa nominală a tachetului depășesc limitele prescrise, iar la turația de 4 rot/min, acestea se încadrează în limitele documentației de execuție. Abaterile de la cursa nominală a tachetului, măsurate la un profil de camă rectificat cu un disc abraziv având valoarea diametrului exterior de 183 mm, sunt reprezentate în figura 4.24.

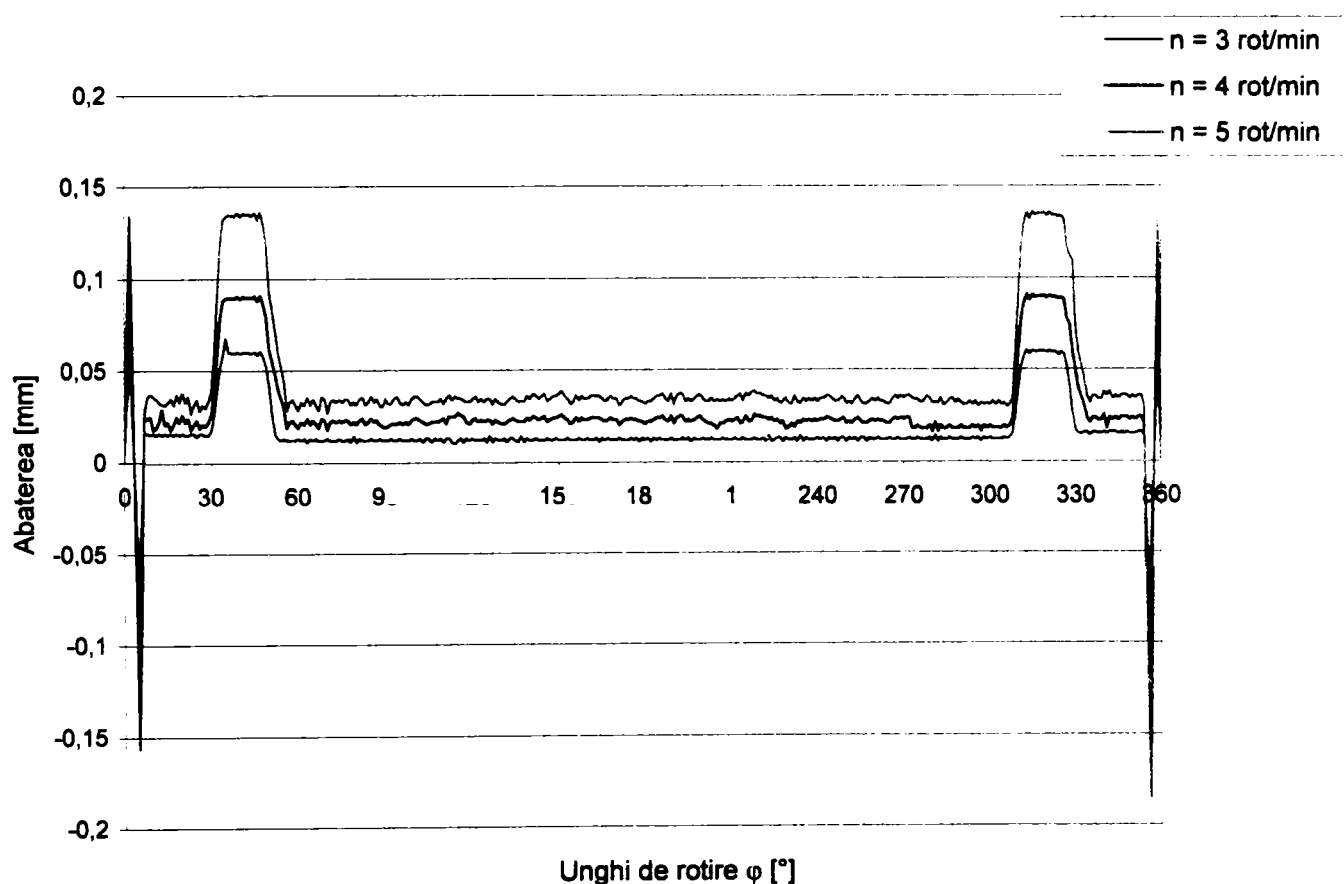


Fig. 4.24 Abaterile cursei nominale a tachetului la rectificarea profilului cu diferite turații

Este foarte importantă determinarea turației maxime a camei în timpul prelucrării, aceasta asigurând o productivitate maximă. Utilizarea unei turații ridicate garantează obținerea unei suprafețe superficiale fără defecte de la operația de rectificare, deși precizia dimensională nu este atât de mare ca și în cazul utilizării unei turații scăzute.

Turația care s-a utilizat la operația de rectificare I, înainte de cementare, a fost de 5 rot/min, la care s-a obținut o valoare a abaterii totale de 0,324 mm, acceptabilă pentru această fază. La operațiile de rectificare II și III s-a rectificat conturul camelor cu turația de 4 rot/min, cu observația că la ultima fază (scânterierea) a operației de rectificare III s-a folosit turația de 3 rot/min.

Avansul de pătrundere se stabilește în funcție de diametrul de rectificat și de lățimea discului abraziv, astfel:

- la operațiile de rectificare I, înainte de cementare, și rectificare II, înainte de călire II, s-a stabilit valoarea avansului de pătrundere de 0,015 mm/rot;

- la operația de rectificare III, după călirea pentru durificare a stratului superficial, adaosul de prelucrare se îndepărtează diferențiat, fazele de prelucrare fiind următoarele:
 - faza I – se îndepărtează adaosul de prelucrare lăsând pentru faza II un adaos de îndepărtat de 0,1 mm, cu un avans de pătrundere de 0,01 mm/rot: prima fază se încheie cu reascuțirea discului abraziv;
 - faza II – în care se îndepărtează adaosul de prelucrare rămas, cu un avans de pătrundere de 0,005 mm/rot: și această fază se încheie cu reascuțirea discului abraziv;
 - faza III – este numită și scânteiere, deoarece pentru cinci rotații ale camei discul abraziv nu are mișcare de pătrundere, scopul acesteia fiind de a îndepărta stratul de material tasat elastic în faza II.

Parametrii regimului de așchiere, de la operația de rectificare I, se verifică prin compararea puterii necesare la așchiere cu puterea acționării principale a mașinii de rectificat. Pentru această verificare se folosește relația (4.3).

Cu acest regim de așchiere s-au efectuat prelucrările finale ale profilului camelor de la motoarele Diesel de puteri mari MAN Burmeister&Wein, precizia dimensională și calitatea suprafeței rectificate încadrându-se în limitele prevăzute, acestea fiind acceptate pentru operațiile ulterioare, respectiv asamblarea și testarea motoarelor. Primele motoare tip: S 70, L 42 și L 35, din seria de motoare MC, au parcurs perioada de garanție fără a înregistra reclamații privind mecanismul de distribuție.

4.2.5 Concluzii

Prelucrarea finală a profilului camelor individuale, care fac parte din mecanismul de distribuție al motoarelor Diesel de mare putere, se poate executa pe mașini de rectificat prin copiere după șablon. Pentru aceasta trebuie să fie proiectate mașini speciale de rectificat, în concordanță cu principalii parametri constructivi ai camelor ce urmează a fi prelucrate. În această fază, cel mai important parametru caracteristic mecanismului de distribuție al motorului este cursa tchetului. În funcție de valoarea acesteia se stabilește mărimea cursei saniei de urmărire.

Pentru stabilirea optimă a factorilor tehnologici care intervin la prelucrarea finală a profilului camelor prin rectificare după șablon astfel încât, să se obțină precizie dimensională și calitate a suprafeței în concordanță cu documentația de execuție, la un cost minim al prelucrării, trebuie să fie efectuată analiza cinematică a mecanismului cu camă. Importanța cea mai mare o are determinarea formei profilului, în special a zonelor concave. Aprecierea se face prin analizarea valorilor razelor de curbura, pentru calculul acestora fiind necesar să fie stabilite vitezele și accelerațiile tchetului.

În funcție de raza de curbura minimă, a zonelor concave, se determină valoarea maximă a diametrului exterior al discului abraziv. Este importantă alegerea unui diametru exterior cât mai mare posibil, deoarece sarcina este preluată de un număr mai mare de granule, iar scăderea diametrului prin uzare are loc mai lent. Valoarea razei discului abraziv nu poate să depășească raza de curbura minimă, deoarece conturul prescris al zonei concave nu ar mai putea fi generat. Dacă valorile razelor: discului abraziv și a curburii zonei concave, sunt egale, lungimea de contact dintre profilul camei și discul abraziv este mare, ceea ce presupune un contact îndelungat. Aceasta poate provoca o supraîncălzire puternică a zonei respective, având ca efect apariția fisurilor în stratul superficial al camei. De asemenea, în situația de egalitate a razelor, accelerația mesei oscilante tinde spre o valoare infinită, provocând un șoc dur, cu efecte

nefavorabile asupra funcționării mecanismului de copiere al mașinii de rectificat și înrăutățind precizia dimensională și gradul de netezime al suprafeței rectificate.

Datorită considerentelor prezentate mai înainte, se recomandă pentru raza exterioră a discului abraziv o valoare de maxim 90 % din raza de curbură. Cu diametrul discului abraziv astfel stabilit, se determină legea de mișcare a mesei oscilante și accelerația acesteia. Dacă în diagrama accelerațiilor mesei oscilante a mașinii de rectificat apar salturi mari, este recomandat să se reducă valoarea diametrului discului abraziv, reducând prin aceasta saltul valorii forțelor de inerție și implicit abaterile. Valori mai mari ale abaterilor au fost înregistrate în acele zonele ale profilului, în care accelerația mesei oscilante are valori ridicate și au loc salturi. Pentru efectuarea rapidă a calculelor s-a întocmit un program de calcul, care utilizează programul EXCEL din pachetul Microsoft Office.

După stabilirea diametrului discului abraziv, și a domeniului total de utilizare, până la uzura maximă admisă a discului abraziv, se determină numărul necesar de șabloane și, aferent acestora, intervalul de diametre ale discului abraziv. Determinarea analitică a intervalului de utilizare a discului abraziv se face iterativ, măbind și micșorând diametrul discului abraziv. Cu aceste valori se calculează coordonatele teoretice ale curselor tachetului. Acestea se compară cu valorile nominale ale curselor tachetului, stabilind astfel abaterea teoretică. Când abaterea teoretică a ajuns la 80 % din valoarea maximă a abaterii prescrisă în documentația de execuție, se consideră că valoarea diametrului a ajuns la limita de utilizare pentru șablonul respectiv. Cu ajutorul unei role care are diametrul situat la mijlocul intervalului de utilizare, se confecționează șablonul, direct pe mașina de rectificat, utilizând dispozitivul de rectificare a șabloanelor din dotarea acesteia. Pentru a utiliza la maxim corpul abraziv, este necesar un set de asemenea șabloane.

Turația maximă a camei, la operația de rectificare a profilului, se stabilește pe cale experimentală. Datorită multitudinii de factori care intervin în procesul de rectificare prin copiere a conturului camei, calculul analitic al turației este inexact. Turația a camei este un factor tehnologic cu o mare influență în ceea ce privește precizia dimensională și costul operației. Din punct de vedere al preciziei dimensionale, este de preferat o turație cât mai mică însă, la turație mică, contactul dintre discul abraziv și cama de prelucrat este îndelungat, provocând supraîncălzire locală puternică, care poate conduce la apariția fisurilor. Costurile operației de rectificare scad odată cu creșterea turației a camei. Deci, turația trebuie să fie astfel aleasă încât, să aibă valoarea maximă care asigură: prelucrarea unui profil fără defecte de material, cu o precizie dimensională în limitele prescrise și cu costuri minime. Experimentarea se face în momentul în care semifabricatul-camă a ajuns în faza de rectificare înainte de cementare. În această fază este adăos suficient pentru înderărtare la operațiile următoare și astfel pericolul rebutării a camei este redus. Pentru a îmbunătăți precizia dimensională, fără a afecta calitatea suprafeței și costurile prelucrării, se recomandă ca la ultima fază a operației finale de rectificare (la scânteiere), turația a camei să fie redusă cu 25 %.

Calitatea materialului abraziv, viteza de așchiere și avansul de pătrundere sunt stabilite conform indicațiilor din literatura de specialitate și recomandărilor fabricanților de corpuri abrazive, în funcție de materialul de prelucrat, duritatea suprafeței și lățimea a camei.

Pentru a evita apariția fisurilor la rectificarea profilului a camei, se recomandă utilizarea lichidelor de răcire cu un debit cât mai mare.

Măsurarea curselor reale ale tachetului trebuie să fie făcută cu ajutorul unor dispozitive special proiectate.

Capitolul 5. CONTRIBUȚII PERSONALE

Prin cercetări teoretice și experimentale, au fost aduse următoarele contribuții personale:

- Analiza stadiului actual al tehnologiei de prelucrare a camelor plane, prezentând:
 - Sinteza analitică a camelor plane utilizate la motoarele Diesel de mare putere;
 - Analiza unor legi de mișcare, pornind de la legea de mișcare polinomială generalizată, fără șocuri și fără simetrii la mijloc de cursă;
 - Analiza curbelor ce reprezintă variația parametrilor adimensionali ai tachetului mecanismului cu camă, obținute prin programul MATHCAD, dezvoltată pentru polinomialele 16, 56 și 100;
 - Materialele, semifabricatele și tratamentele termice primare pentru came individuale și pentru arbori cu came
 - Procedeele de prelucrare primară a profilului camelor;
 - Tratamentele termice secundare, plecând de la condițiile tehnice impuse stratului superficial;
 - Prelucrarea finală a profilului camelor prin rectificare, cu prezentarea mașinilor de rectificat specializate care se utilizează;
 - Verificarea calității suprafețelor active ale camelor prin controlul dimensional al profilului, controlul defectoscopic nedistructiv al stratului superficial, cu prezentarea verificatoarelor specializate și a instalațiilor utilizate.
- Elaborarea metodologiei de optimizare a factorilor tehnologici la prelucrarea prin strunjire-copiere a profilului camelor la arborii cu came monobloc:
 - Conceperea și realizarea sistemului de strunjire-copiere nerotundă pe strung normal;
 - Conceperea și realizarea dispozitivului de verificare a profilului camelor obținute prin strunjire;
 - Stabilirea relației de calcul a turației maxime a piesei, care asigură obținerea prin strunjire a profilului camei;
 - Întocmirea a două programe de calcul, unul pentru efectuarea analizei cinematice a mecanismului cu camă, și altul pentru determinarea coordonatelor profilului real al camei pe baza programului EXCEL din pachetul MICROSOFT OFFICE;
 - Optimizarea adâncimi de așchiere la strunjire-copiere nerotundă a arborilor cu came și a adaosului de prelucrare;
 - Stabilirea relațiilor de calcul a avansului optim în cazul strunjirii nerotunde;
 - Optimizarea unghiurilor constructive și funcționale ale cuțitului de strung la strunjirea profilului camelor.
- Elaborarea metodologiei de optimizare a factorilor tehnologici la prelucrarea prin frezare a profilului camelor:

- Conceperea și realizarea dispozitivului de măsurare a cursei tachetului la camele individuale de mari dimensiuni;
- Optimizarea diametrului frezei pentru prelucrarea profilului camelor;
- Optimizarea adâncimii de așchiere și a adaosului de prelucrare;
- Stabilirea relațiilor de calcul a vitezei de avans pe contur și a vitezei de așchiere;
- Întocmirea programului de prelucrare cu comandă numerică a profilului camelor, pe baza coordonatelor profilului, calculate cu programul EXCEL.
- Elaborarea metodologiei de optimizare a factorilor tehnologici la rectificarea camelor din arborii cu came monobloc:
 - Optimizarea alegerii calității și a diametrului discului abraziv, utilizând programul EXCEL;
 - Calculul vitezei de așchiere optime;
 - Stabilirea numărului optim de șabloane;
 - Stabilirea relației de calcul a turației maxime a piesei la rectificarea profilului;
 - Determinarea experimentală a influenței turației piesei asupra profilului rectificat;
 - Optimizarea avansului de pătrundere și a adaosului de rectificare în trei faze.
- Elaborarea metodologiei de optimizare a factorilor tehnologiei la rectificarea profilului camelor individuale mari:
 - Elaborarea temei de proiectare a mașinii de rectificat specializate RPK 600;
 - Optimizarea alegerii calității discului abraziv;
 - Stabilirea corelației dintre diametrului discului abraziv și șabloanele profilului camei;
 - Optimizarea vitezei de așchiere la rectificare;
 - Stabilirea numărului optim de șabloane;
 - Determinarea turației maxime a camei la rectificare;
 - Optimizarea avansului de pătrundere și a adaosului de rectificare în trei faze;
 - Utilizarea dispozitivului special conceput și realizat, la verificarea profilului final al camelor.

1. **Anghel, Ș.** *Mecanisme*. Vol. 1 și 2. Editura Universității "Eftimie Murgu". Reșița, 1993 și 1994.
2. **Anghel, Ș.** *Îndrumar de proiectare a mecanismelor*. Vol. 1 și 2. Editura Universității "Eftimie Murgu". Reșița, 1994.
3. **Anghel, Ș.** *Organe de mașini*. Vol. 1 și 2. Editura Universității "Eftimie Murgu". Reșița, 1995 și 1997.
4. **Anghel, Ș.** și **Ianici, S.** *Mecanisme plane articulate. Probleme aplicative*. Editura Universității "Eftimie Murgu". Reșița, 2001.
5. **Anghel, Ș.** și **Ianici, S.** *Proiectarea transmisiilor mecanice*. Editura "Universitatea Tehnică Timișoara", 1993.
6. **Anghel, Ș., Pastor, A.** ș.a. *Contribuții la sinteza analitică a mecanismelor cu came plane utilizând legi de mișcare polinomiale de grad înalt*. Analele Universității "Eftimie Murgu" Reșița, Anul IX, 2002.
7. **Anghel, Ș., Pastor, A.** ș.a. Optimised synthesis of distribution & injection planar cams for high power Diesel engines. *Mechanisms & Manipulators*, nr. 1. București, 2002.
8. **Aramă, C.** ș.a. *Poluarea aerului de către motoarele cu ardere internă*. Editura Tehnică. București, 1975.
9. **Aurite, T.** și **Zapciu, M.** *Considerații asupra trasării profilului zonelor de lucru pentru camele disc ale mecanismelor cu tchet oscilant folosite la mașinile-unelte automate*. Construcția de mașini. Nr. 1, 1995.
10. **Baron, T.** ș.a. *Calitate și fiabilitate*. Editura Tehnică. București, 1988.
11. **Bătagă, N.** ș.a. *Rodarea, uzarea, testarea și reglarea motoarelor termice*. Editura Tehnică. București, 1995.
12. **Beier, H.** *Hydraulische Vorschubantriebe für Werkzeugmaschinen*. In: wt - Z. ind. Fertig. Springer – Verlag, 1979.
13. **Bobancu, Ș.** *Proiectarea modernă a camelor pentru viteze medii și mici*. Editura Gryphon. Brașov, 1991.
14. **Brăgaru, A.** ș.a. *Optimizarea proceselor și echipamentelor tehnologice*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1996.
15. **Briggs, G. A. D.** *An Introduction to Scanning Acoustic Microscopy*. Royal Microscopical Society Handbook. Vol. 12. Oxford University, 1985.
16. **Cartiș, I. G.** *Tratamente termice*. Editura Facla. Timișoara, 1982.
17. **Chișiu, A.** ș.a. *Organe de mașini*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1981.
18. **Constantinescu, I.** ș.a. *Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice*. Editura Tehnică. București, 1990.
19. **Dancea, I.** *Metode de optimizare*. Editura Dacia. Cluj – Napoca, 1976.
20. **Deacu, L.** ș.a. *Tehnica hidraulicii proporționale*. Editura Dacia. Cluj – Napoca, 1989.
21. **Demian T.** ș.a. *Mecanisme de mecanică fină*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1982.
22. **Drăghici, G.** *Tehnologia construcției de mașini*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1984.
23. **Drăghici, G.** *Tehnologia tip a pieselor plane, cu axe încrucișate, cu profil complex și elicoidale*. Editura Tehnică. București, 1977.
24. **Dulămiță, T.** și **Gherghescu, I.** *Oțeluri de scule*. Editura Tehnică. București, 1990.
25. **Dumitraș, C.** și **Militaru, C.** *Așchieră metalelor și fiabilitatea sculelor așchietoare*. Editura Tehnică. București, 1983.

26. **Enache, Ș. și Minciu, C.** *Proiectarea asistată a sculelor așchietoare*. Editura Tehnică. București, 1983.
27. **Enache, Ș.** *Tehnologia ascuțirii și netezirii sculelor*. Editura Tehnică. București, 1973.
28. **Escobar, J.A.** *Stress and Fatigue analysis of SVI – tested camshaft lobes*. Teză. Virginia Polytechnic Institute. November, 1996.
29. **Gaudissart, P.** *Concevoir et fabriquer des cames en un minimum de temps*. Centre de recherches scientifiques et techniques de l'industrie des fabrications métalliques, Section: Construction Mécanique. MC 62, octobre 1976.
30. **Grozav, I.** *Optimizarea regimului de așchiere la frezare conform criteriului minimului costului operației*. A VIII – a conferință de inginerie managerială și tehnologică. Timișoara, 28 – 30 Mai 1998, p. 97 – 104.
31. **Grünwald, B.** *Teoria, construcția și calculul motoarelor pentru autovehicule interne*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1969.
32. **Handra – Luca, V. și Stoica, A.** *Introducere în teoria mecanismelor*. Editura Dacia. Cluj-Napoca, 1983.
33. **Handson, R. D. și T. C. Tsao** *Periodic Sampling Interval Repetitive Control And Its Application to Variable Spindle Speed Noncircular Turning Process*. American Society of Mechanical Engineers Journal of Dynamic System, Measurement, and Control. Nr.122, p. 560 – 566, September 2000.
34. **Hütte.** *Ediția din 1915*
35. **Inaba, S.** *Numerische Steuerungen – gestern, heute und morgen*. In: Werkstatt und Betrieb 114 (1981) nr. 0, p. 593 – 599.
36. **Kief, H.B.** *NC/CNC Handbuch*. Carl Hanser Verlag. München, Wien, 1993.
37. **Kovács, F. ș.a.** *Fabrica viitorului*. Editura Multimedia International. Arad, 1999
38. **Kovacs, F. ș.a.** *Mecanisme*. Editura „Universitatea Tehnică Timișoara”, 1992.
39. **Kovacs, F. ș.a.** *Mecanisme.Curs*. Vol. 1,2, și 3. Editura Facla, Timișoara, 1992.
40. **Kovács, F. ș.a.** *Sinteza mecanismelor*. Vol. 1 și 2. Editura “Universitatea Tehnică Timișoara”, 1992.
41. **Lăzărescu, I. ș.a.** *Așchiera și scule așchietoare*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1976.
42. **Lentz, S. și Hoenke, M.** *Optimisation of Generating Pressure Angle by the Generating Process*. In :European Production Engineering 16 (1992) 3, p. 49 – 53.
43. **Lungu, I.** *40 de ani de fabricație Diesel la Reșița – retrospectivă tehnologică*. Analele Universității “Eftimie Murgu” Reșița, An VI, Nr.1, 1999, p. 117 –124.
44. **Lungu, I.** *Bazele așchierii și generării suprafețelor pe mașini – unelte*. Editura “Eftimie Murgu” Reșița, 1999.
45. **Lungu, I.** *Mașini - Unelte și Agregate*. Vol. 2. Editura "Eftimie Murgu". Reșița, 1998.
46. **Lungu, I.** *Mașini unelte cu comandă numerică și sisteme de prelucrare flexibile*. Editura MODUS P.H. Reșița, 1997
47. **Manolescu, N. I. ș.a.** *Teoria mecanismelor și a mașinilor*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1972.
48. **Marina, M.** *Contribuții la studiul optimizării distribuției motoarelor cu ardere internă în patru timpi*. Teză, Institutul Politehnic „Traian Vuia”. Timișoara, 1978.
49. **Marinescu, N.I. ș.a.** *Tehnologii de prelucrare pe mașini în coordonate*. Editura Tehnică. București, 1988.
50. **Marusciac, I.** *Metode de rezolvare a problemelor de programare neliniară*. Editura Dacia. Cluj – Napoca, 1973.

51. **Mădăras, L. ș.a.** *Încercarea organelor de mașini*. Vol. 1. Editura „Universitatea Tehnică Timișoara”, 1994.
52. **Mădăras, L. ș.a.** *Organe de mașini*. Vol. 1. Lito Institutul Politehnic „Traian Vuia”. Timișoara, 1990.
53. **Micloși, V. ș.a.** *Îndrumător pentru alegerea oțelurilor*. Editura Tehnică. București, 1966.
54. **Microsoft.** *Encarta Encyclopedia 99*. Microsoft Corporation 1999.
55. **Minciu, C.** *Scule așchiitoare. Îndrumar de proiectare*. Vol. 1. Editura Tehnică. București, 1995.
56. **Mirski, F.** *Dynamique des mouvements rapides*. Machine – outil. No. 327. Février 1976.
57. **Moraru, V. ș.a.** *Mașini – unelte speciale*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1982.
58. **Motoiu, R.** *Ingineria Calității*. Editura Chiminform DATA. București, 1994.
59. **Nanu, A.** *Tehnologia materialelor*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1983.
60. **Oprean, A.** *Hidraulica mașinilor–unelte*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1983.
61. **Pastor, A.** *Contribution to establish the optimal grinding wheel external diameter when plain cams contour is grinded*. The eight IFToMM International Symposium on Theory of Machines and Mechanisms. Bucharest, August 28 – September 1, 2001, Vol. III, p. 341 - 344.
62. **Pastor, A.** *Restricții impuse părții active a cuțitului de strung în cazul strunjirii profilului camelor plane cu tchet de translație centric*. Analele Universității “Eftimie Murgu” Reșița, Anul VII, Nr. 2, Tom II, 2000. Al IV-lea Simpozion Internațional “Cercetarea multidisciplinară regională”, 16 – 18 Noiembrie 2000, p. 740 - 745.
63. **Pastor, A.** *Sisteme hidraulice de copiere utilizate la strunjirea profilului camelor plane*. Analele Universității “Eftimie Murgu” Reșița, Anul VII, Nr. 2, Tom II, 2000. Al IV-lea Simpozion Internațional “Cercetarea multidisciplinară regională”, 16 – 18 Noiembrie 2000, p. 746 - 753.
64. **Pastor, A. ș.a.** *Particularități tehnologice la prelucrarea arborilor cu came de la motoarele Diesel R251*. Al VII-lea Simpozion “Mecanisme și transmisii mecanice”, 10-12 Octombrie 1996, Reșița, p. 231 – 237.
65. **Pastor, A.** *Stadiul actual al tehnologiei de prelucrare a camelor*. Referat nr.1, Universitatea „Politehnica” Timișoara, 1997.
66. **Pastor, A.** *Influența factorilor tehnologici la strunjirea prin copiere asupra preciziei de realizare a profilului camei*. Referat nr.2, Universitatea „Politehnica” Timișoara, 1997.
67. **Pastor, A.** *Influența factorilor tehnologici la rectificarea asupra preciziei de realizare a profilului camei*. Referat nr.3, Universitatea „Politehnica” Timișoara, 1999.
68. **Pelecudi, C. ș.a.** *Algoritmi și programe pentru analiza mecanismelor*. Editura Tehnică. București, 1982.
69. **Perianu, D.** *Istoria Uzinelor din Reșița 1771 –1996*. Editura Timpul. Reșița, 1996.
70. **Perju, D.** *Mecanisme de mecanică fină*. Vol. 1 și 2. Litografia Institutului Politehnic „Traian Vuia”. Timișoara, 1986 și 1990.
71. **Person, R.** *Utilizare EXCEL*. Editura Teora. București, 1998

72. **Petriceanu, G.** ș.a. *Proiectarea proceselor tehnologice și reglarea strungurilor automate*. Editura Tehnică. București, 1979.
73. **Picoș, C.,** ș.a. *Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin așchiere*. Editura Universitas. Chișinău, 1992.
74. **Popovici, G.** *Optimizarea prelucrării prin strunjire a oțelurilor inoxidabile austenitice în condiții de răcire criogenice*. Teză, Institutul Politehnic „Traian Vuia”. Timișoara, 1995.
75. **Prodan, D.** *Calculul static și dinamic al sistemelor hidrostactice de urmărire automată*. Construcția de mașini. Nr. 3, 1995.
76. **Prodan, D.** *Sistem hidraulic închis pentru obținerea mișcării de translație*. Construcția de mașini. Nr. 3, 1995.
77. **Pruteanu, O.** ș.a. *Tehnologia construcției de mașini*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1983.
78. **Schmidhuger, H.** *Verfahren zum Umrundkopieren auf Universal Drehmaschinen*. Information der Gebr. Boehringer GmbH. Göppingen, 1982.
79. **Sereda, I.V.** *Determinarea unghiului admisibil de presiune la acționarea cu cama a pompelor de combustibil la motoarele Diesel*. În culegerea: Motoare cu ardere internă, Nr. 27, 1978.
80. **Simionescu, I.** ș.a. *Mecanisme*. Editura tehnică. București, 1999.
81. **Simionescu, I.** ș.a. *Metode numerice în tehnică*. Editura Tehnică. București, 1996.
82. **Spineanu, U.** *Automatizarea controlului dimensiunilor în construcția de mașini*. Editura Tehnică. București, 1987.
83. **Ströhl, H.** *Theoretische Untersuchungen hydraulischer Nachformsystem*. Maschinenbau Technik. Berlin, 1977.
84. **Șișilov, D.G.** *Optimizarea funcției unghiului de presiune $\theta(\varphi)$ prin alegerea parametrilor liberi ai mecanismului cu camă*. Mecanica mașinilor. Ediția 1977, Vol. 52. Academia de Științe a URSS.
85. **Tache, V.** ș. a. *Elemente de proiectare a dispozitivelor pentru mașini – unelte*. Editura Tehnică, 1985.
86. **Tache, V. și Brăgaru, A.** *Dispozitive pentru mașini – unelte. Proiectarea schemelor de orientare și fixare a semifabricatelor*. Editura Tehnică. București 1976.
87. **Teodoru, P.** *De la roată la farfuria zburătoare*. Editura Albatros. București, 1985
88. **Tomizuka, M.** ș.a. *Tool Positioning for Noncircular Cutting with Lathe*. American Society of Mechanical Engineers Journal of Dynamic System, Measurement, and Control. Nr.109, p. 176 – 179, June 1987.
89. **Tutunaru, D.** *Mecanisme cu came*. Editura Tehnică. București, 1959.
90. **Tuzu, C. și Motoiu, C.** *Motoare Diesel*. Editura Tehnică. București, 1971.
91. **Udrescu, L.** *Tratamente termice de suprafață și acoperiri*. Editura Politehnica Timișoara, 2000.
92. **Vasii – Roșculeț, S.** ș.a. *Proiectarea dispozitivelor*. Editura Didactică și Pedagogică. București, 1982.
93. **Vermeșan, G.** *Îndrumător pentru tratamente termice*. Editura Dacia Cluj-Napoca, 1987.
94. **Vermeșan, G.** ș.a. *Carburarea*. Editura Risoprint. Cluj – Napoca, 2001.
95. **Vela, I.** *Proiectarea dispozitivelor*. Editura „Eftimie Murgu”. Reșița, 1998.

96. **Vela, I.** *Construcția și exploatarea dispozitivelor. Îndrumar de proiectare.* Lito Institutul Politehnic „Traian Vuia”. Timișoara, 1991.
97. **Vela, I. și Micloșină, C.** *Cercetări în domeniul Roboticii la Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița.* Robotică&Management, vol. 7, nr. 1, iunie 2002.
98. **Vlad, A. și Grigorescu, H.** *Reglarea strungurilor automate.* Editura Tehnică. București, 1965.
99. **Vlase, A. ș.a.** *Regimuri de așchiere și norme tehnice de timp la strunjire.* Editura BREN. București, 1988.
100. **Vlase, A. ș.a.** *Regimuri de așchiere. Adaosuri de prelucrare și norme tehnice de timp.* Vol. 1 și 2. Editura Tehnică. București, 1984 și 1985.
101. **Vlase, A. ș.a.** *Tehnologii de prelucrare pe mașini de frezat.* Editura Tehnică. București, 1993.
102. **Vlase, A. ș.a.** *Tehnologii de prelucrare pe mașini de rectificat.* Editura Tehnică. București, 1995.
103. **Vlase, A. ș.a.** *Tehnologii de prelucrare pe strunguri.* Editura Tehnică. București, 1989.
104. **Zamfir, V.** *Mecanisme. Îndrumar de proiectare.* Lito Institutul de Mine Petroșani, 1988.
105. **Zamfir, V.** *Mecanisme. Sinteza analitică a mecanismelor.* Lito Institutul de Mine Petroșani, 1977.
106. **Zamfir, V. ș.a.** *Câteva aspecte privind determinabilitatea și mobilitatea mecanismelor.* Simpozion aniversar UT Petroșani 1994. Vol. XXVI, fascicula 1, p. 235 – 240.
107. **Zăgănescu, I.** *Locomotive și automotoare cu motoare termice.* Editura Didactică și Pedagogică. București, 1972.
108. **Zetu, D. ș.a.** *Mașini – unelte automate și cu comandă numerică.* Editura Didactică și Pedagogică. București, 1982.
109. **Ziegler, W.** *CNC Cylindrical Grinding Sets new Standards.* In: Industrial&Production Engineering 14 (1990) 1, p. 41 – 44.
110. * * * *Cartea dispozitivului de copiat SHC 500 – 1.*
111. * * * *Cartea mașinii de frezat cu cap vertical FV 500 CNC H – 646.*
112. * * * *Cartea mașinii de rectificat arbori cu came Kolb, tip NR 4/1600.*
113. * * * *Cartea mașinii de rectificat profil came RPK 600 S.*
114. * * * *Cartea strungului 1M 63 630x2800.*
115. * * * **ALCO.** *Instruction for 251 type engines.* Vol. 5.
116. * * * **Andrews Products.** *EZCAM - camshaft measurement system.*
117. * * * **Atlantic.** *Abrasive Industries. Grinding wheels.*
118. * * * **Bay State Abrasives SA.** *Grnding wheels.*
119. * * * **Gerhardt.** *Kurven – und Nockenform – Messmaschine.*
120. * * * **Hommelwerke.** *CNC – Nockenform – Meßmaschinen.*
121. * * * **Înfrățirea Oradea.** *Manual de programare CNC - H 646.*
122. * * * **Karl Deutsch.** *Ultraschall – Prüfverfahren.*
123. * * * **MAN B&W.** *Instructions for 50 – 90 MC type engines.* Edition 40. Copenhagen, 1993.
124. * * * **MAN B&W.** *Marine Propulsion Engines, Propulsion System, Marine GenSets*
125. * * * **MAN B&W.** *Service Experience on MC Engines.*
126. * * * **MAN B&W.** *The MC Engines.*
127. * * * **MAN B&W.** *Two – stroke MC engines.*

128. * * * **MAN**. *Viertakt – Dieselmotor L+V 52/55.*
129. * * * **Marposs**. *Multidimensional gauging system for shafts.*
130. * * * **MTS**. *Cams and camshafts.*
131. * * * **NORTON**. *Leitfaden des Schleifens.*
132. * * * **Perthometer**. *Surface Texture Measuring and Recording Instruments*
133. * * * **Schiess Kopp**. *CNC Nockenwellenfräsmaschinen.*
134. * * * **Schiess Kopp**. *CNC Nockenwellenschleifmaschinen.*
135. * * * **Taylor Hobson**. *Form&Surface Measurement.*
136. * * * **Taylor Hobson**. *Metrology Applications in the Automotive Industry.*

CURRICULUM VITAE

1. Date personale:

Nume: PASTOR
Prenume: AUGUSTIN EMIL
Data nașterii: 1962, iulie, 09
Locul nașterii: Petroșani, Hunedoara, România
Stare civilă: căsătorit, doi copii

2. Studii liceale:

Liceul Industrial de Construcții de Mașini Târgu – Mureș

3. Studii universitare:

Institutul Politehnic „Traian Vuia” Timișoara, Facultatea de Mecanică, specializarea: Tehnologia Construcțiilor de Mașini, promoția: 1986

4. Doctorat:

Înmatriculat la doctorat în anul 1994, domeniul: Inginerie mecanică, cu tema: „Optimizarea factorilor tehnologici la prelucrarea camelor plane”, Universitatea „Politehnica” Timișoara, Facultatea de Mecanică, conducător științific: prof. univ. dr. ing. ANGHEL ȘTEFAN

5. Activitatea profesională:

1986 – 1995: inginer, U.C.M. Reșița, Secția Proiectare Tehnologii Motoare Diesel
1991 – 2002: cadru didactic asociat la Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița
1995 – 1998: Șef Secție Adjunct, UCM Reșița, Secția Motoare Diesel Navale
1998 – 1999: Șef Secție Adjunct, UCM Reșița, Secția Motoare Diesel Rapide
din 1999: Director Producție, UCM Reșița

6. Activitate didactică:

Discipline predate:

Mașini – Unelte și Prelucrări prin Așchiere
Procedee de Prelucrare prin Așchiere

Coordonare lucrări de laborator:

Mașini-unelte
Bazele Așchierii și Generării Suprafețelor

Îndrumare proiecte:

Proiecte de an la Mașini – Unelte
Proiecte de diplomă pentru obținerea titlului de inginer

7. Activitate științifică:

Îndrumar de laborator: 3

Articole comunicate și publicate în reviste de prestigiu: 17

8. Specializări:

La General Motors, Electro Motive Division, Chicago, Illinois, USA – în 1998, pentru prelucrarea componentelor de la motoarele Diesel de tracțiune feroviară, pe mașini – unelte cu comandă numerică și sisteme flexibile de prelucrare

9. Apartenență la societăți științifice:

Asociația Română pentru Teoria Mașinilor și Mecanismelor
Asociația Generală a Inginerilor din România

10. Limbi străine:

Engleza, scris și vorbit