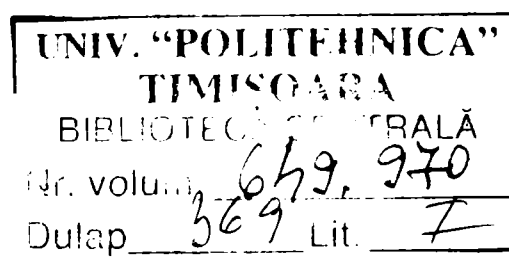


ing. Constantin Marinescu

## **TEZĂ DE DOCTORAT**

### ***OPTIMIZAREA REGIMULUI DE LUCRU LA SUPRANETEZIREA SUPRAFETEȚELOR***

Conducător științific:  
Prof.Dr.Ing. Aurel Dreucean



- 2006 -

# CUPRINS

	<b>Pagina</b>
<b>1. INTRODUCERE</b>	1
<b>2. STADIUL ACTUAL AL PRELUCRĂRII PRIN SUPRAFINISARE</b>	5
<b>2.1. Aplicații industriale ale procedeului</b>	11
2.1.1. <i>Prelucrarea unor elemente din componența automobilului</i>	11
2.1.2. <i>Suprafinisarea suprafețelor elicoidale</i>	18
2.1.3. <i>Suprafinisarea suprafețelor sferice</i>	19
2.1.4. <i>Prelucrarea suprafețelor plane</i>	20
2.1.5. <i>Aplicații la prelucrarea rulmenților</i>	21
<b>2.2. Aspecte privind microrelieful suprafețelor suprafinisate</b>	22
<b>3. SUPRAFINISAREA SUPRAFEȚELOR CILINDRICE EXTERIOARE</b>	24
<b>3.1. Cinematica procedeului de suprafinisare a suprafețelor cilindrice exterioare</b>	24
<b>3.2. Evoluția procesului de așchiere</b>	28
<b>3.3. Autoascuțirea corpurilor abrazive</b>	30
<b>3.4. Influența parametrilor regimului de lucru asupra procesului de așchiere</b>	31

3.4.1.	<i>Influența lichidului de spălare-răcire asupra performanțelor prelucrării</i>	35
<b>3.5.</b>	<b>Stabilirea regimurilor de lucru la suprafinisare</b>	36
3.5.1.	<i>Pregătirea pieselor pentru prelucrare</i>	36
3.5.2.	<i>Alegerea corpurilor abrazive</i>	37
3.5.3.	<i>Stabilirea parametrilor regimului de lucru</i>	39
<b>3.6.</b>	<b>Concluzii</b>	43
<b>4.</b>	<b>CERCETĂRI TEORETICO-EXPERIMENTALE</b>	46
4.1.	<b>Instalația experimentală</b>	46
4.2.	<b>Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre forța de așchiere și parametrii regimului de lucru la suprafinisarea suprafețelor cilindrice exterioare</b>	56
4.2.1.	<i>Dependența dintre forța de așchiere și viteza mișcării de rotație a piesei de prelucrat</i>	56
4.2.2.	<i>Dependența dintre forța de așchiere și viteza mișcării oscilatorii a barei abrazive</i>	57
4.2.3.	<i>Dependența dintre forța de așchiere și unghiul de atac</i>	58
4.2.4.	<i>Dependența dintre forța de așchiere și presiunea nominală de apăsare a barei abrazive</i>	60
4.3.	<b>Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre forța de așchiere și indicii tehnico-economici ai operației de suprafinisare</b>	62
4.3.1.	<i>Modificarea rugozității suprafeței în timpul prelucrării</i>	63
4.3.2.	<i>Evoluția uzării corpului abraziv</i>	65
4.3.3.	<i>Legătura dintre rugozitatea suprafeței și presiunea de lucru</i>	67
4.3.4.	<i>Dependența stării de uzare a corpului abraziv în funcție de presiunea de lucru</i>	68
4.3.5.	<i>Concluzii</i>	70

<b>4.4.</b>	<b>Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre forța de aşchiere și rugozitatea finală</b>	71
4.4.1.	<i>Dependența dintre rugozitatea suprafeței suprafinisate și forța specifică convențională pentru diferite granulații ale barei abrazive</i>	72
4.4.2.	<i>Dependența dintre rugozitatea suprafeței suprafinisate și forța specifică convențională pentru diferite valori ale vitezei de rotație</i>	74
4.4.3.	<i>Dependența dintre rugozitatea suprafeței suprafinisate și viteza de rotație, pentru granulațiile: M40, M28, M14, M7, M3</i>	75
4.4.4.	<i>Stabilirea forței de aşchiere în funcție de rugozitatea finală impusă</i>	79
<b>4.5.</b>	<b>Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre forța de aşchiere și timpul de bază</b>	81
4.5.1.	<i>Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională pentru granulația M40 (320)</i>	81
4.5.2.	<i>Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională pentru granulația M28 (400)</i>	82
4.5.3.	<i>Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională pentru granulația M14 (600)</i>	84
4.5.4.	<i>Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională pentru granulațiile M7 (800) și M3 (1000)</i>	85
4.5.5.	<i>Influența rugozității inițiale și vitezei de rotație ale piesei asupra timpului de prelucrare</i>	88
4.5.6.	<i>Stabilirea forței de aşchiere pentru timpul de prelucrare minim</i>	92

4.6.	<b>Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre uzura barei abrazive (<math>U_s</math>) și forța specifică convențională (<math>F_s</math>)</b>	98
	<b>Concluzii</b>	105
5.	<b>DETERMINAREA FORȚEI DE AȘCHIERE CORESPUNZĂTOARE COSTULUI MINIM AL OPERAȚIEI DE SUPRAFINISARE</b>	106
5.1.	<b>Analiza costului operației de suprafinisare</b>	106
5.2.	<b>Determinarea valorii forței specifice convenționale pentru costul minim al operației</b>	112
5.3.	<b>Analiza limitărilor la suprafinisarea cu costul minim al operației</b>	114
5.4.	<b>Metodica stabilirii regimului de lucru la suprafinisare în condițiile costului minim al operației</b>	117
6.	<b>STABILIREA REGIMULUI DE LUCRU LA SUPRAFINISAREA ÎN DOUĂ FAZE</b>	129
6.1.	<b>Suprafinisarea în două faze cu un singur tip de bară abrazivă</b>	129
6.2.	<b>Suprafinisarea în două faze cu bare abrazive diferite</b>	134
6.3.	<b>Suprafinisarea în două faze cu viteze de rotație diferite</b>	139
7.	<b>OPTIMIZAREA REGIMULUI DE LUCRU LA SUPRAFINISARE</b>	150
7.1.	<b>Stabilirea regimului de lucru la suprafinisarea cu forță de așchiere constantă, pentru costul minim al operației. Itinerariul de calcul</b>	150
8.	<b>CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE</b>	155
	<b>BIBLIOGRAFIE</b>	158

## 1. INTRODUCERE

Sporirea continuă a vitezelor mașinilor și a forțelor care solicită diferitele organe ale acestora, necesitatea de a asigura o durabilitate corespunzătoare a pieselor în exploatare, sunt doar câteva motive care reclamă suprafețe prelucrate de înaltă calitate. Însușire esențială, care se referă atât la aspectul fizic - proprietățile fizico-mecanice ale stratului superficial trebuind să fie cât mai apropiate de cele ale materialului de bază, dar și la aspectul geometric - abaterile suprafeței reale de la suprafața ideală trebuind să fie cât mai mici.

Unul dintre aceste procedee este și *suprafinisarea (vibronetezirea) suprafețelor* de diferite forme, cel mai răspândit fiind cel pentru suprafețe cilindrice exterioare. Acesta asigură îmbunătățirea considerabilă a calității suprafețelor prelucrate sub ambele aspecte ale acesteia, fizic și geometric, *aplicându-se pieselor puternic solicitate.*

Fiind un procedeu tehnologic aplicat în economiile dezvoltate de cca. 70 ani, el mai păstrează încă atributul „neconvențional”, aplicarea lui în industria românească se produce încă timid și cu ezitări, care țin atât de rutină (din comoditate se apelează la procedee consacrate, chiar dacă au performanțe mai scăzute), cât - mai ales - de exigențele sporite ale procedurii de prelucrare prin suprafinisare, care presupun aprofundarea teoretică temeinică, utilaje de prelucrare și scule specializate, tehnologii adaptate practic la fiecare grup de repere prelucrate, sau lot de scule, obținerea unui raport cost-calitate, convenabil - dictat de regimurile optime de uzinare, care determină în final *productivitatea.*

Date fiind avantajele acestei tehnologii pentru o gamă din ce în ce mai mare de repere la care se solicită performanță, este evident că *fiecare contribuție la definirea parametrilor procedurii poate fi*

*binevenită. Completând baza teoretică și experimentală a metodei și contribuind la susținerea implementării și extinderii aplicării acesteia în industria prelucrătoare de profil.*

Toate aceste exigențe impun *specialiști*. De aici - *motivația, imboldul de a alege prezenta temă de studiu, cu larg câmp de aplicare.*

Fiind un procedeu de netezire fină, suprafinisarea asigură în primul rând reducerea rugozității până la valori ale parametrului  $R_a=0,025\mu\text{m}$  și chiar mai mici. *Lungimea portantă relativă a profilului  $R_{mr}(c)$ , care după rectificare nu depășește 30%, prin suprafinisare poate ajunge la valori de 95% [13].*

Literatura de specialitate nu oferă metode de calcul a regimului de lucru optim la suprafinisare, ca în cazul altor procedee de prelucrare prin așchiere. Sunt indicate numai limitele între care se pot alege mărimile parametrilor de lucru pentru o suprafață dată, recomandându-se o optimizare experimentală, pentru fiecare tip de prelucrare [1, 2, 3, 9, 10, 18, 19].

Considerat la început ca un proces cu sistare automată [2, 3], cercetări mai recente scot în evidență unele din posibilitățile de influențare a desfășurării procesului de așchiere, pentru menținerea intensității microașchierii la un nivel ridicat, pe toată durata ciclului de prelucrare. Se relevă influența modificării vitezei de rotație a piesei și implicit a unghiului de atac  $\alpha$ , în timpul prelucrării, asupra desfășurării microașchierii [5]. Se consideră că *prin modificarea presiunii barei abrazive, în sensul creșterii ei spre sfârșitul ciclului de prelucrare, se poate influența procesul de autoascuțire a barei, iar intensitatea procesului de suprafinisare, menținută la un nivel corespunzător.*

În concluzie, se poate afirma că la prelucrarea prin suprafinisare cu un regim de lucru stabilit experimental, nu conduce la performanțe

de calcul deosebite și nu asigură repetabilitatea rezultatelor (din cauza dispersiei caracteristicilor materialului pieselor și barelor abrazive) nu permit obținerea unor rezultate constante privind capacitatea de producție, consumul de bare abrazive și calitatea suprafețelor prelucrate.

S-a pornit de la ipoteza că procesul de microașchiere la suprafinisare este de fapt un proces de frecare între bara abrazivă și suprafața piesei supuse suprafinisării. Ca urmare, *forța de așchiere dintre bara abrazivă și piesă poate caracteriza intensitatea procesului de microașchiere în timpul suprafinisării.*

Pe baza acestei ipoteze s-au efectuat cercetări experimentale prin care să se stabilească: dependența rugozității finale a suprafeței suprafinisate de forța de așchiere specifică  $F_s$ ; dependența timpului de bază a operației de suprafinisare de forța de așchiere specifică; și dependența uzării barei abrazive de forța de așchiere specifică.

Sintetizând, *ideea de bază a tezei de doctorat este aceea că: „Regimul de lucru la suprafinisarea suprafețelor cilindrice exterioare poate fi stabilit pe baza forței de așchiere specifice  $F_s$  ( $N/mm^2$ ) dintre bara abrazivă și piesa de prelucrat”, deoarece:*

- *rugozitatea finală a suprafeței suprafinisate depinde de forța de așchiere specifică;*
- *timpul de bază al operației de suprafinisare depinde de forța de așchiere specifică;*
- *consumul de bare abrazive (uzarea barei abrazive depinde de forța de așchiere specifică);*

*ca urmare, costul operației de suprafinisare, care include cheltuieli cu manopera și cheltuieli cu sculele abrazive, depinde de forța de așchiere specifică.*



*Cercetarea experimentală realizată a permis elaborarea unei metodologii de determinare a regimului de lucru **optim** la suprafinisare, pe baza forței de aşchiere specifice, care poate să asigure:*

*1 - realizarea cât mai precisă a rugozității prescrise.*

*2 - maximizarea productivității prelucrării prin minimizarea timpului de bază.*

*3 - minimizarea costului operației de prelucrare.*

## **2. STADIUL ACTUAL AL PRELUCRĂRII PRIN SUPRAFINISARE**

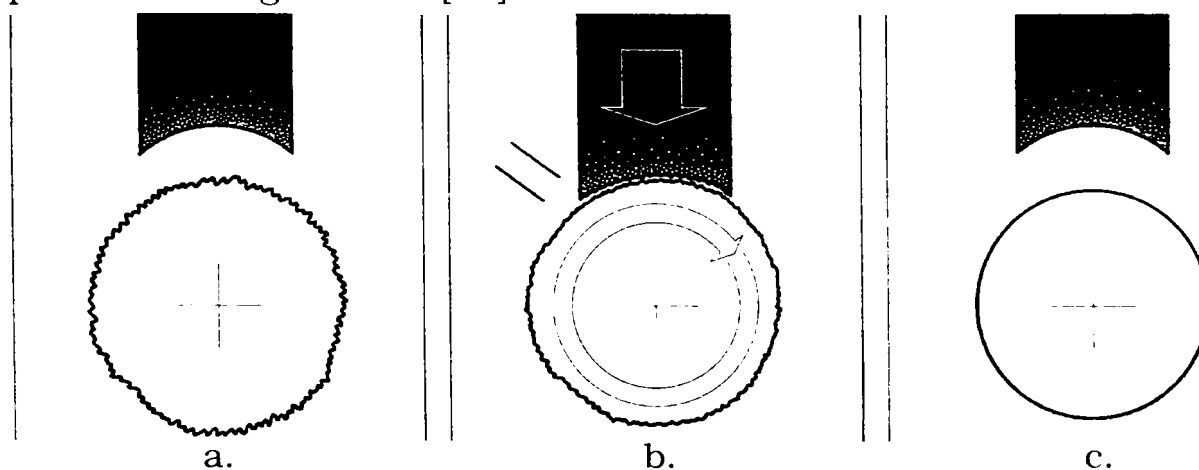
Prelucrarea prin suprafinisare a suprafețelor pieselor se cunoaște de șapte decenii, fiind aplicată pentru prima dată în industria de automobile. Căutându-se un procedeu mai productiv, care să înlocuiască lepuirea manuală a suprafețelor de alunecare și de rulare, s-a ajuns la procedeul de suprafinisare, al cărui principiu de lucru constă în utilizarea unor bare abrazive prismatice, presarea controlată a acestora pe suprafața de prelucrat, imprimarea unei mișcări rectilinii-alternative combinată cu o mișcare de rotație (avans circular), în direcție perpendiculară [3, 14]. La supranetezirea suprafețelor cilindrice exterioare, bara abrazivă execută mișcarea de translație, iar piesa mișcarea de rotație.

În prezent, firme dintre cele mai importante utilizează pe scară largă acest procedeu. În industria automobilelor sunt prelucrate fusurile și palierile arborilor cotiți, axele cu came, supapelor, bolțurilor, arborii cutiilor de viteze, suprafețele de sincronizare ale pinioanelor, discurile și tamburii de frână, amortizoarele telescopice, arborii cardanici, articulațiile sferice etc. În producția de pompe și aparataj hidraulic se prelucrează prin suprafinisare: arbori, tije, sertare, pistoane, roți dințate, șuruburi-melc etc. Industria producătoare de rulmenți utilizează procedeul de suprafinisare la prelucrarea căilor de rulare ale inelelor de rulmenți și a suprafețelor active ale corpurilor de rostogolire.

Procedeul de suprafinisare se mai aplică în industria constructoare de mașini-unelte, în industria aviatică, industria navală, precum și în laminarea la rece și fabricarea hârtiei (unde se utilizează valțuri suprafinisate).

Cunoscut în prezent sub diferite denumiri (vibronetezire, supranetezire, microfinisare, honuire cu cursă scurtă etc.), procedeul de suprafinisare asigură îmbunătățirea considerabilă a calității suprafețelor prelucrate sub ambele aspecte ale acesteia, fizic și geometric, aplicându-se pieselor puternic solicitate.

Fiind în natura lucrurilor, frecarea este un factor care nu poate fi niciodată eliminat pe deplin. Dar diminuarea la minim a coeficientului de frecare și așadar sporirea la maxim a randamentului sunt două caracteristici esențiale ale procedeului de suprafinisare. De aceea acesta este indicat de exemplu pentru industria de rulmenți, nu numai pentru finisarea suprafețelor de rulare la inelele interioare și exterioare, ci și pentru suprafețele corpurilor de rulare. Capacitatea de încărcare și durata de exploatare a rulmenților ating astfel valori maxime și în plus, rulmenții astfel finisați se disting printr-o rulare deosebit de liniștită. Un exemplu de piesă (corp de rulare rulment) reprezentată la scară mărită, înainte și după suprafinisare este prezentat în figura 2.1. [34].



**Figura 2.1**

*a- înainte de suprafinisare b- suprafinisare prin contact superficial; c- suprafinisare faza finală (cu viteză mărită)*

În timpul rectificării, ca urmare a presiunii ridicate și a căldurii de așchiere produse, care poate ridica temperatura în zona de așchiere până la 1200°C, se produce o degradare a stratului superficial prin

modificarea structurii și distrugerea rețelei cristaline. Aceasta poate determina reducerea rezistenței piesei în exploatare, o uzură mai accentuată și chiar tendințe de gripaj, în cazul unei lubrefieri mai puțin eficiente. Prin procedeul de suprafinisare, la care vitezele de lucru și presiunile sunt reduse, acest strat superficial amorf este îndepărtat, astfel că se asigură în stratul superficial, proprietățile fizico-mecanice ale materialului de bază, rezistent la uzură.

Diagramele dovedesc clar avantajele procedeului de suprafinisare pentru prelucrarea de finisare. Pentru a putea compara ameliorările obținute în materie de rugozitate, ne servim de diagrame longitudinale, din care reiese procentajul portant obținut. Prin suprafinisare se obține și o ameliorare a macrogeometriei suprafeței prelucrate, abaterile de la circularitate și rectilinitate reducându-se cu 50 - 80%, ca urmare a contactului pe suprafață mare, dintre bara abrazivă și piesa prelucrată. Tocmai această creștere a suprafeței portante la valori atât de mari explică înalta rezistență la uzură a pieselor prelucrate după procedeul de suprafinisare. (figura 2.3)

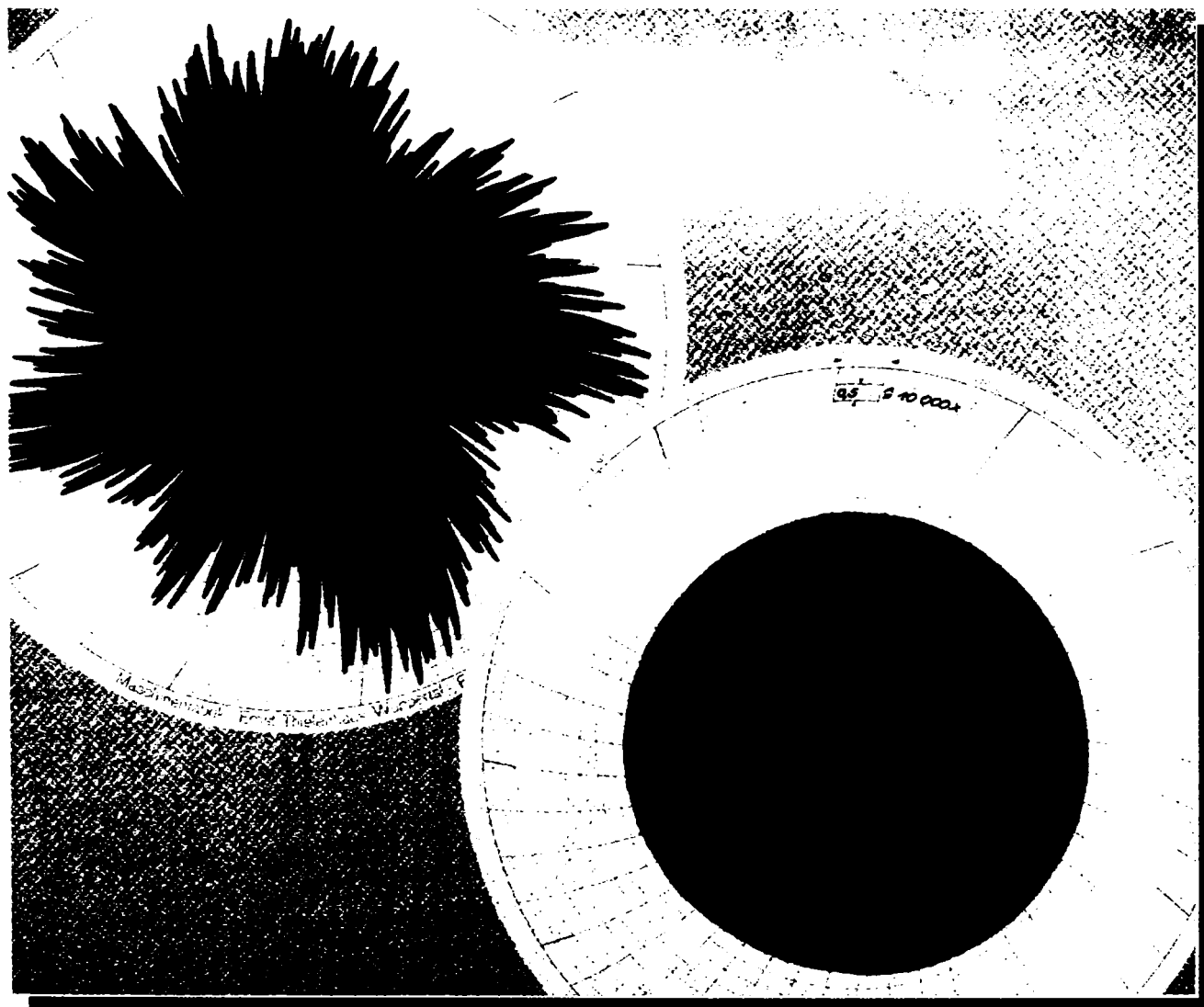
Suprafinisarea suprafețelor de alunecare are influență pozitivă și asupra lubrefierii. Rețeaua de rizuri încrucișate, specifică suprafețelor suprafinisate, asigură aderența uleiului și deci o lubrefiere corespunzătoare a cuplei de frecare (figura 2.2) [34].

**Figura 2.2** – Rețeaua de rizuri încrucișate de la suprafinisare



Rezultă, deci, că prin suprafinisarea suprafețelor active ale pieselor de mașini, este posibilă eliminarea rodajului, evitându-se uzurile intense specifice perioadei inițiale de funcționare care duc la modificarea caracterului ajustajului prescris și determină neajunsuri în funcționarea mașinii.

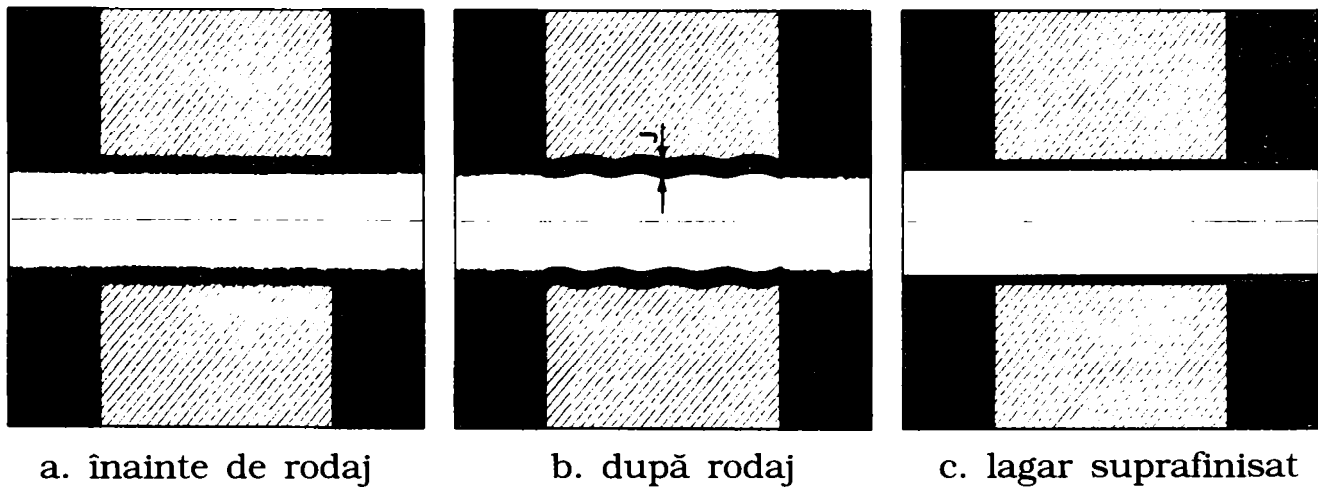
Utilizat inițial numai în scopul îmbunătățirii calității suprafețelor prelucrate, procedeul de suprafinisare a început să fie folosit și pentru creșterea preciziei dimensionale sau pentru corecții de formă [34].



**Figura 2.3** – Diagrama abaterilor de la circularitate  
a - după rectificarea unui bolț piston;  
b - după suprafinisarea bolțului.

La suprafinisare, practic nu există joc în lagăr. Lipsa preciziei de suprafață și defecte de formă geometrică exercită influențe defavorabile asupra jocului în lagăr. Asperitățile materialului prelucrat la un lagăr

rectificat nu rezistă solicitării și se uzează repede prin frecare. De aici rezultă un joc mai mare decât cel prevăzut inițial, care duce la uzarea prematură a lagărului. Mai există și riscul ca la rodaj, pelicula protectoare de lubrefiant să se rupă, ceea ce ar putea duce la degradarea calitativă a materialului în urma frecării și a căldurii produse. În schimb, lagărele finisate prin procedeul de suprafinisare nu reprezintă nici un fel de uzură perceptibilă, deoarece lungimea portantă relativă a profilului:  $R_{mr}(c) > 90\%$ , caz în care suprafața prelucrată nu mai prezintă asperități importante. Jocul în lagăr, stabilit inițial, se menține pe o perioadă atât de îndelungată, încât industria de autovehicule nu vede azi nici un risc în acordarea de garanții până la cinci ani. Un astfel de lagăr este reprezentat în figura 2.4 [34].



**Figura 2.4** - Jocul în lagărul de alunecare

La suprafinisare este necesară stropirea abundentă cu lichid care, prin mișcarea relativă dintre două elemente, ajunge în zona activă de așchiere. Lichidul are mai puțin rol de răcire și mai mult rol de spălare a microașchiilor și a granulelor abrazive uzate și desprinse din liant, deci de îndepărtare permanentă a impurităților mecanice produse în timpul prelucrării. Are, de asemenea, rolul de a forma o peliculă protectoare care să se opună lipirii așchiilor pe granulele abrazive.

Ca lichide de spălare-răcire, se utilizează cu preponderență, un amestec de petrol lampant (85-90%) și ulei de fusuri (15-10%). Compoziția acestuia influențează într-o oarecare măsură procesul de suprafinisare. Dacă se urmărește obținerea unor rugozități mici, se recomandă mărirea procentului de ulei în compoziția lichidului de spălare-răcire. În acest fel, granulele abrazive uzate sunt îndepărtate mai greu, umplând porii suprafeței active cu granule fine, care reduc viteza de aşchiere și contribuie la obținerea unei rugozități mai mici. Dacă se micșorează procentul de ulei, și deci vâscozitatea, crește capacitatea lichidului de a spăla granulele abrazive uzate și microașchiile, se intensifică procesul de microașchiere prin creșterea capacității aşchietoare a barei abrazive, iar rugozitatea finală obținută are valori mai mari. *Influența vâscozității lichidului de spălare-răcire asupra rugozității finale obținute prin suprafinisare, este însă mică în comparație cu influența altor parametri ai procesului și este în general neglijată.*

Utilizarea unor lichide de spălare-răcire apoase, de tipul emulsiilor, nu este recomandată, influențând duritatea barelor abrazive, care se poate reduce cu 10-50%. Ca urmare, s-ar produce uzări importante și chiar spargerea barelor abrazive.

Importanță deosebită are separarea lichidului de spălare-răcire de imuritățile mecanice produse. Gradul de curățare are influență asupra rugozității finale obținute, în special când se urmărește obținerea unor suprafețe fin prelucrate. Filtrarea lichidului trebuie să asigure reținerea granulelor abrazive spălate și a microașchiilor, în care scop filtrele se prevăd și cu elemente magnetice. Se recomandă un debit mediu de lichid de 0,08 litri/secundă. Simultan cu creșterea presiunii specifice de aşchiere, crește și debitul de fluid de lucru.

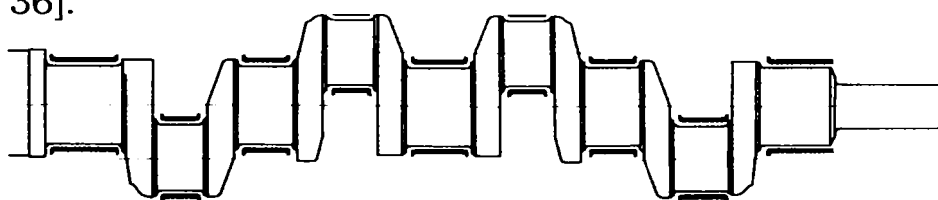
## 2.1. Aplicații industriale ale procedeului

### 2.1.1. Prelucrarea unor elemente din componența automobilului

#### a) Suprafinisarea arborilor cotiți

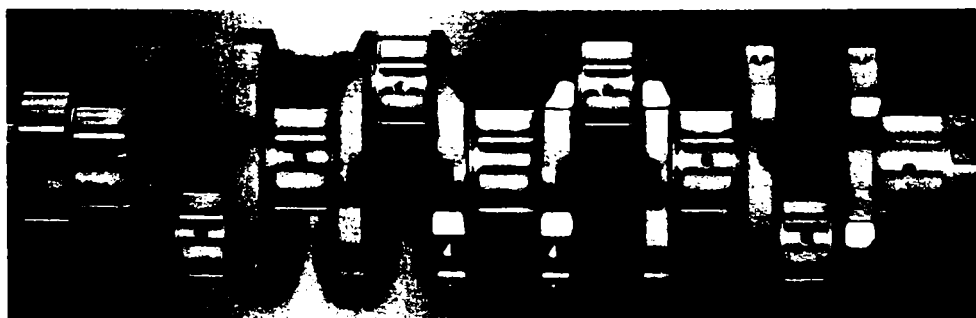
Arborii cotiți sunt organe de mașini, care sunt supuse în timpul funcționării, la solicitări importante: statice, dinamice și de frecare, motiv pentru care trebuie să se asigure precizii de prelucrare ridicate. Prin suprafinisare sunt îndepărtate neregularitățile profilului produse la rectificare asigurându-se lungimi portante relative deosebite, care fac posibile asigurarea jocurilor optime de funcționare, în condițiile eliminării perioadei de rodaj. Este important că rugozitatea suprafețelor portante poate fi pregătită potrivit condițiilor individuale de funcționare ale motorului. Razele de racordare dintre brațele de manivelă de la arborele cotit și lagăre pot fi și ele suprafinisate. Astfel, toate urmele de așchiere periculoase, rezultate după rectificare, sau strunjire, în razele de racordare sunt îndepărtate.

Arborii cotiți suprafinisați sunt caracterizați printr-o mare rezistență la uzare, o durabilitate ridicată și siguranță mare în funcționare. Un fabricant de automobile afirmă că arborii cotiți suprafinisați au o durată de viață comparabilă cu o funcționare reală de 500.000 km. În figura 2.5 este reprezentat un astfel de arbore cotit suprafinisat [34, 36].



**Figura 2.5**

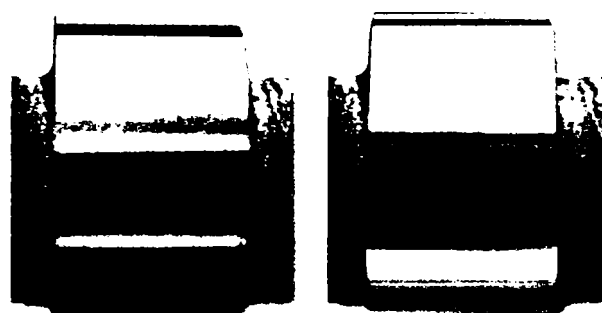
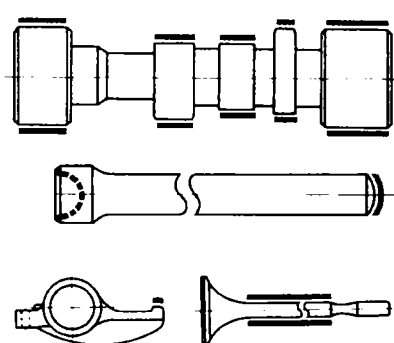
Arbore cotit –  
suprafețele  
suprafinisate



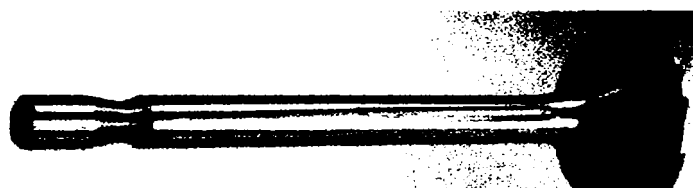
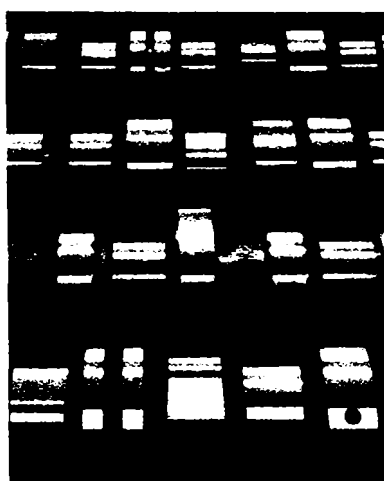


## b) Suprafinisarea axelor cu came, supapelor și culbutorilor

Axele cu came obțin proprietăți de funcționare remarcabile în comanda supapelor după suprafinisare, prin precizia de formă și calitatea suprafeței. Cu palierele intermediare ale axelor cu came suprafinisate, este posibil a economisi cuzineți speciali. Suprafinisarea poate fi aplicată dealtfel și la suprafețe convexe și concave, cum ar fi tije culisante și culbutori. Cum aceste piese se mișcă foarte rapid și se rotesc în același timp, forțele mari la care sunt supuse sunt exercitate asupra suprafețelor mici. Precizia de formă și înalta calitate a suprafețelor care sunt obținute prin procedeul de suprafinisare dau pieselor rezistență la uzură și asigură funcționarea lor o durată lungă de timp. Tijele de supape cu precizia de formă și calitatea suprafețelor obținute prin procedeul de suprafinisare oferă o garanție excelentă în cartea tehnică a produsului. În figura 2.6 se pot vedea care sunt suprafețele care se pot prelucra prin procedeul de suprafinisare pentru piesele amintite mai sus [34, 36].

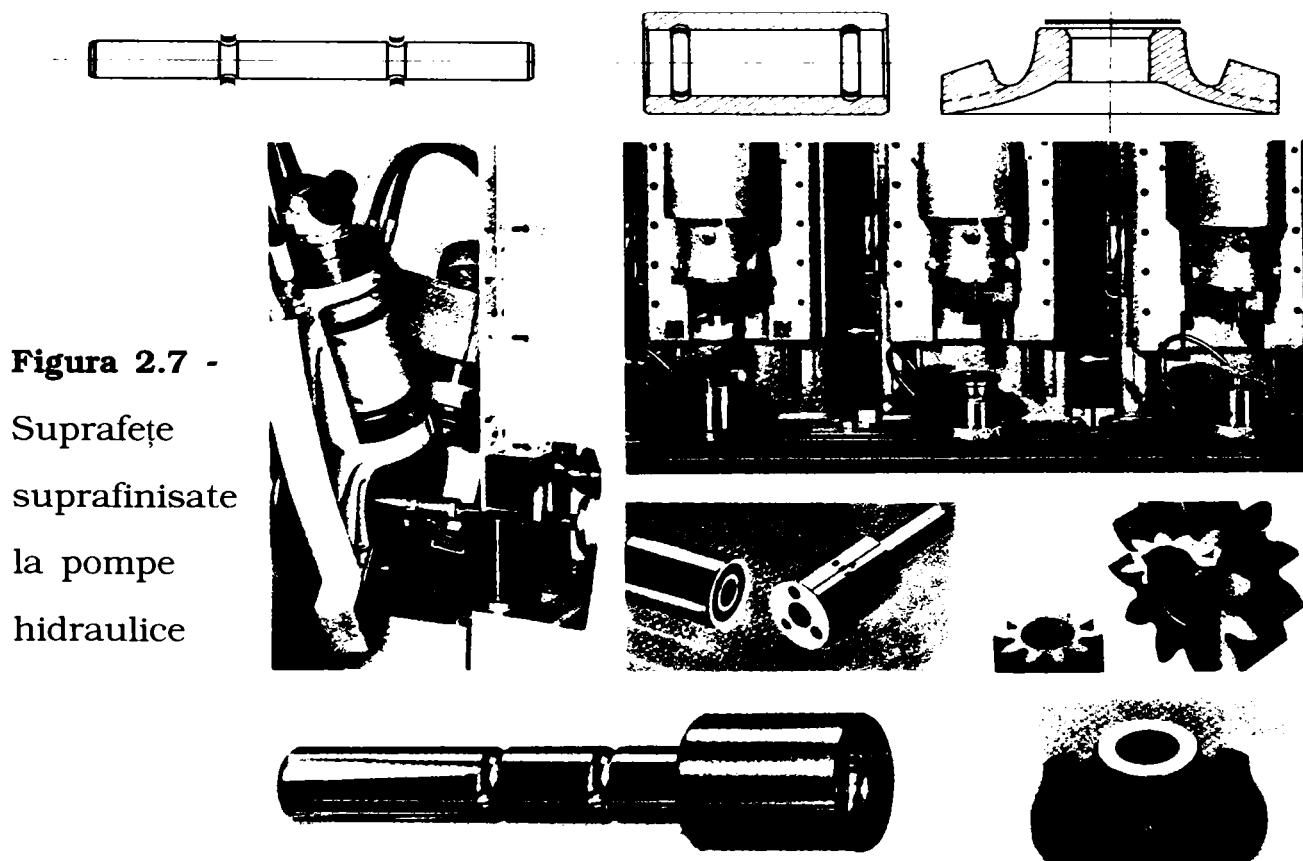


**Figura 2.6** - Suprafețele suprafinisate în cazul axelor cu came, tijelor de supape și culbutorilor



### c) Suprafinisarea pompelor hidraulice

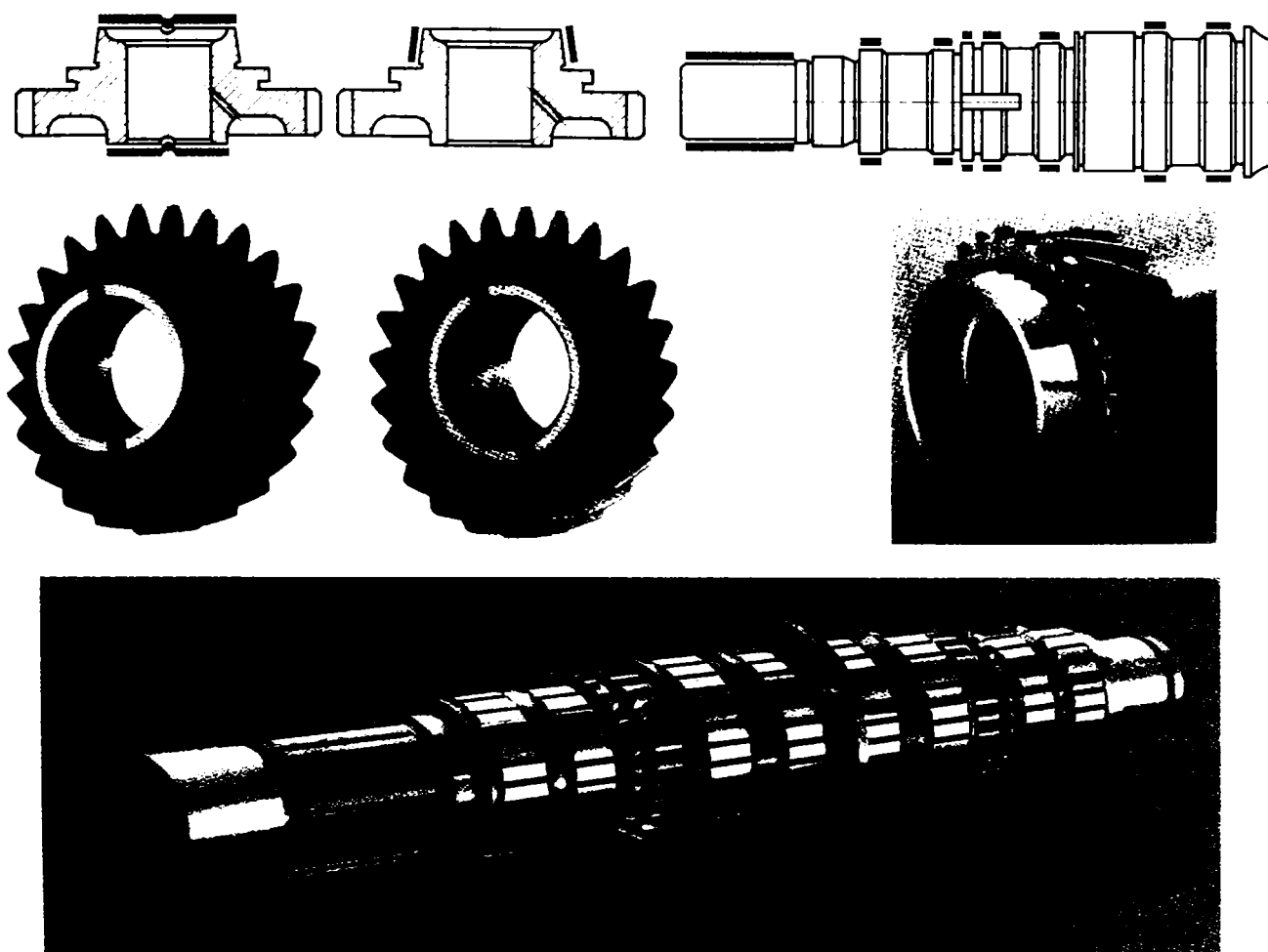
Defecțiunile pompelor hidraulice utilizate la construcția automobilelor pot avea consecințe foarte costisitoare asupra motoarelor. De aceea, componentele acestor pompe trebuie să corespundă și ele din punct de vedere al preciziei de prelucrare. Suprafața frontală a rotorului de pompă necesită, prin procedeul de suprafinisare, o anumită toleranță la planeitate și la poziția înclinată a alezajului în raport cu această suprafață. Suprafața astfel obținută în urma suprafinisării este de o mare rezistență la uzură. Canalele de rulmenți interioare ale carcaselor sunt de altfel și ele suprafinisate. După suprafinisare, canalele de rulment din arborele pompei și carcasă corespund din punct de vedere al calității suprafeței. Cele două canale de rulmenți, din arbore și din carcasă sunt prelucrate simultan asigurându-se o precizie și un randament înalt. Cu procedeul de suprafinisare pompele cu roți dințate au fețele perfect plane. În figura 2.7 sunt specificate suprafețele componentelor pompelor hidrostactice care sunt suprafinisate precum și două tipuri de mașini specializate de suprafinisat [34, 36].



**Figura 2.7 -**  
Suprafețe  
suprafinisate  
la pompe  
hidraulice

d) Suprafinisarea pinioanelor și roților dințate de la cutiile de viteze

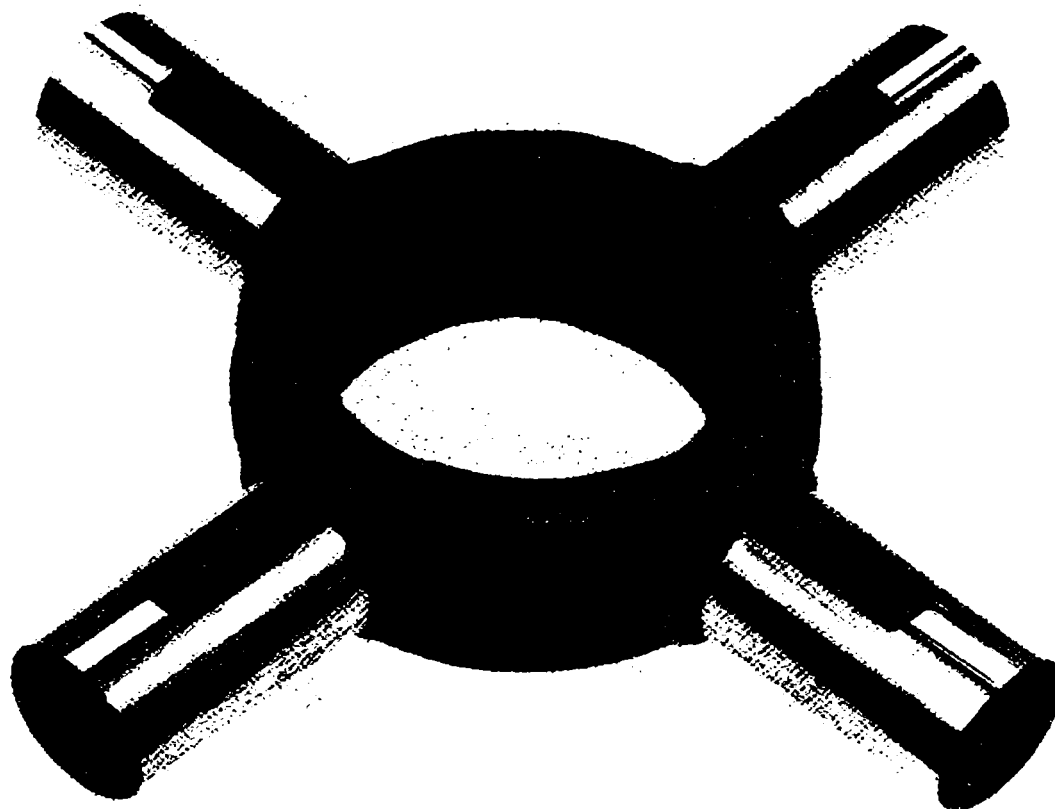
Cutiile de viteze de la automobile conțin componente care sunt supuse unor solicitări mecanice alternative și intermitente, motiv pentru care sunt impuse cerințe deosebite referitoare la precizia de prelucrare a suprafețelor de contact. De exemplu, suprafețele conice și frontale ale roților dințate sau suprafețele de rulare ale arborilor, sunt prelucrate pe mașini de suprafinisat automate, prevăzute cu unul sau mai multe capete de lucru. În figura 2.8 sunt prezentate unele componente ale cutiilor de viteze, care sunt prelucrate prin suprafinisare [34, 36].



**Figura 2.8** – Exemple de piese și suprafețe suprafinisate

### e) Suprafinisarea crucii cardanice

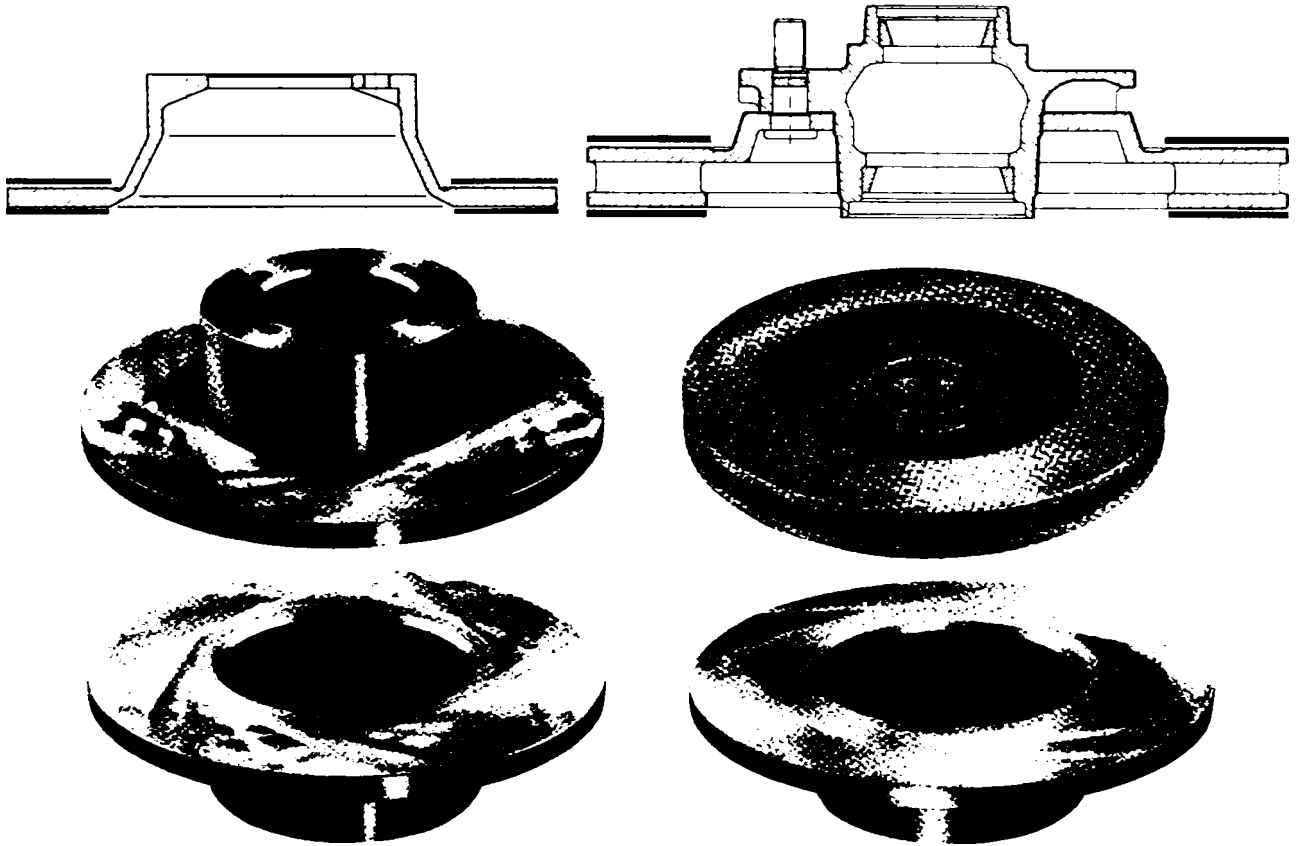
Crucile cardanice sunt supuse unor solicitări variabile, motiv pentru care sunt prevăzute cu precizii dimensională, de formă și de poziție foarte strânse, precum și o calitate deosebită a suprafeței. Precizia necesară poate fi realizată ușor, prin executarea prelucrării finale pe mașini automate de suprafinisare. Piesele astfel prelucrate au o funcționare silențioasă, rezistență ridicată la uzare și o durată de viață foarte mare. În figura 2.9 se poate vedea o astfel de piesă, tip cruce cardanică, și suprafețele care sunt suprafinisate [34].



**Figura 2.9** – Suprafețele suprafinisate la o cruce cardanică

## f) Suprafinisarea discurilor de frână

Cerințele impuse acestor produse se referă la deformații foarte reduse, rugozitate mică, suprafețe de frânare plane și paralele etc. Prin prelucrarea acestora pe mașini de suprafinisat se obține o rugozitate uniformă pe suprafețele discurilor de frână. În figura 2.10 se pot vedea suprafețele discurilor de frână care sunt suprafinisate.



**Figura 2.10** - Suprafețele discurilor de frână care sunt suprafinisate

g) Suprafinisarea tijelor de amortizoare (telescoape)

Durata de viață a amortizoarelor depinde de calitatea elementelor de etanșare și a tijelor de acționare, precum și de precizia de asamblare. Calitatea tijelor de amortizor se asigură prin prelucrarea acestora pe mașini de suprafinisat, care pot realiza rugozități mai mici de  $0,1\mu\text{m}$ .

În figura 2.11 se pot vedea suprafețele tijelor suprafinisate [34, 36].

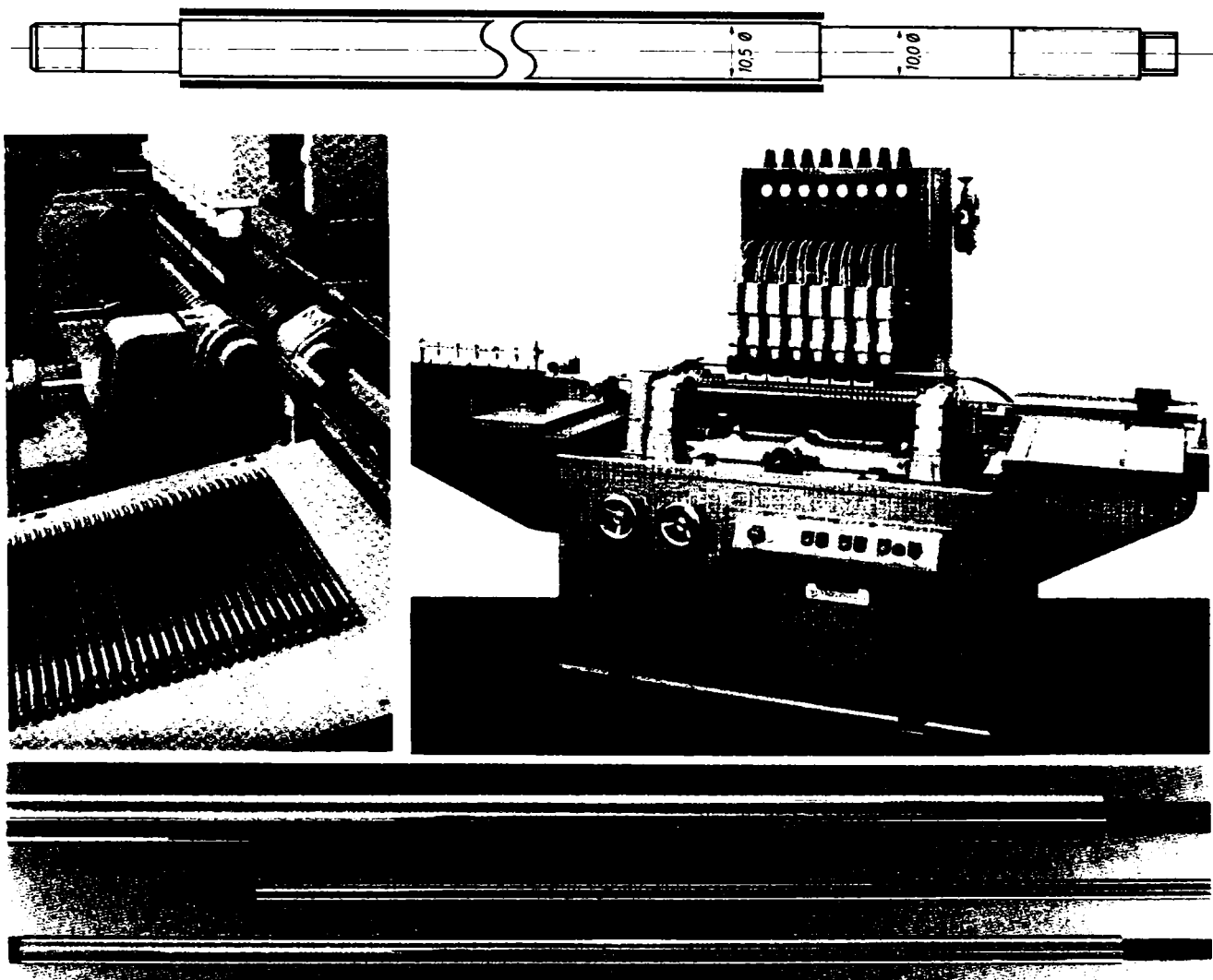
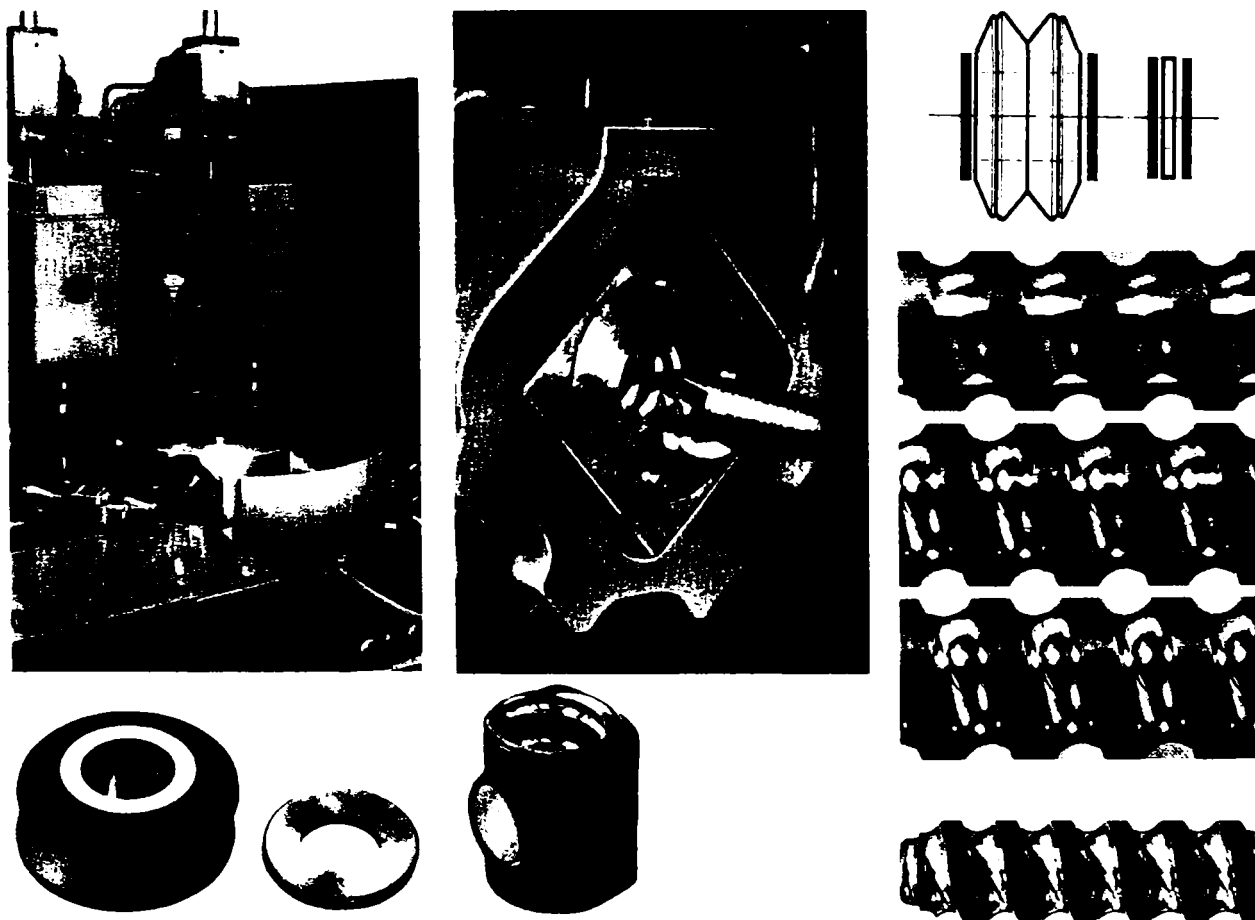


Figura 2.11 – Suprafinisarea tijelor de amortizoare

### 2.1.2. Suprafinisarea suprafețelor elicoidale

Șuruburile cu elemente de rulare sunt caracterizate de precizii de prelucrare deosebite, rezistență ridicată la uzare și precizie de asamblare foarte bună. În figura 2.12 este prezentată o vedere a mașinii de suprafinisat șuruburi cu elemente de rulare, cu indicarea suprafețelor de prelucrare [34, 36].



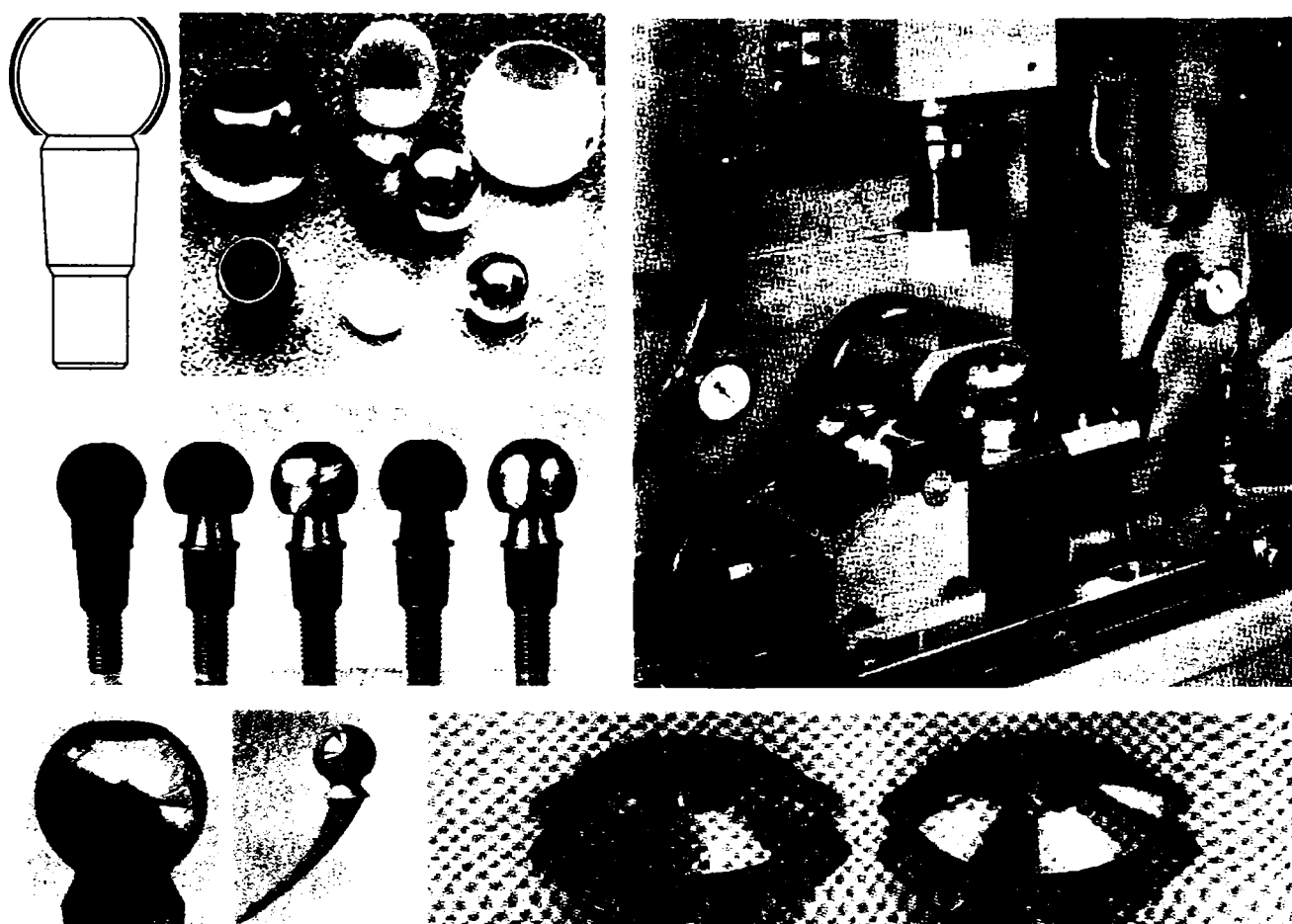
**Figura 2.12** – Suprafinisarea șuruburilor elemente de rulare

Șuruburile din această categorie se folosesc la mecanismele de transformarea mișcării de rotație în mișcare de translație, care asigură precizii ridicate de deplasare. Pentru a realiza precizii ridicate de deplasare este necesar să se prelucraze foarte precis căile de rulare.

### 2.1.3. Suprafinisarea suprafețelor sferice

Componentele asamblării sferice (pivoți, pompe etc) care trebuie să aibă o formă geometrică precisă pentru a-și îndeplini perfect rolul funcțional. Piesele cu suprafețe geometrice imprecise și rugozități mari produc uzura rapidă a cuzineților sferici cu care vin în contact, în scurt timp după pornire. Mașinile de suprafinisat cu posibilitatea compensării deplasării axiale a centrului sferei produsă în timpul degroșării. Particularitatea aplicării procedurii garantează obținerea unei forme geometrice precise a elementului sferic.

În figura 2.13 sunt prezentate câteva exemple de piese aflate în procesul de suprafinisare și suprafețele care se suprafinisează la acestea [34, 36].



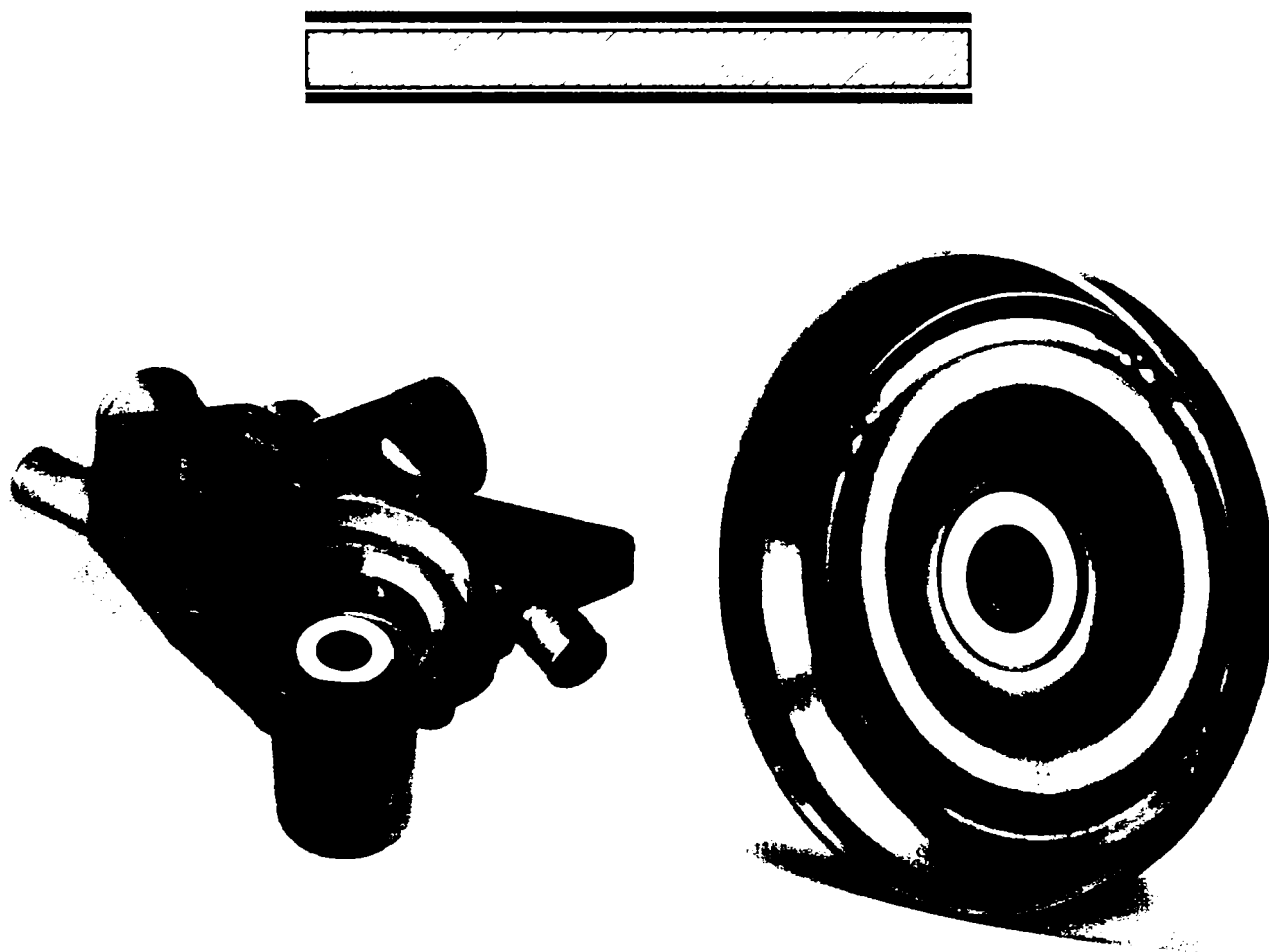
**Figura 2.13** – Suprafinisarea suprafețelor sferice



#### 2.1.4. Prelucrarea suprafețelor plane

Sunt prelucrate piese cu cerințe deosebite de precizie, care se referă la inele de etanșare înguste, plăci de ventil, carcase de pompe, suprafețele plane ale unor piese complexe etc.

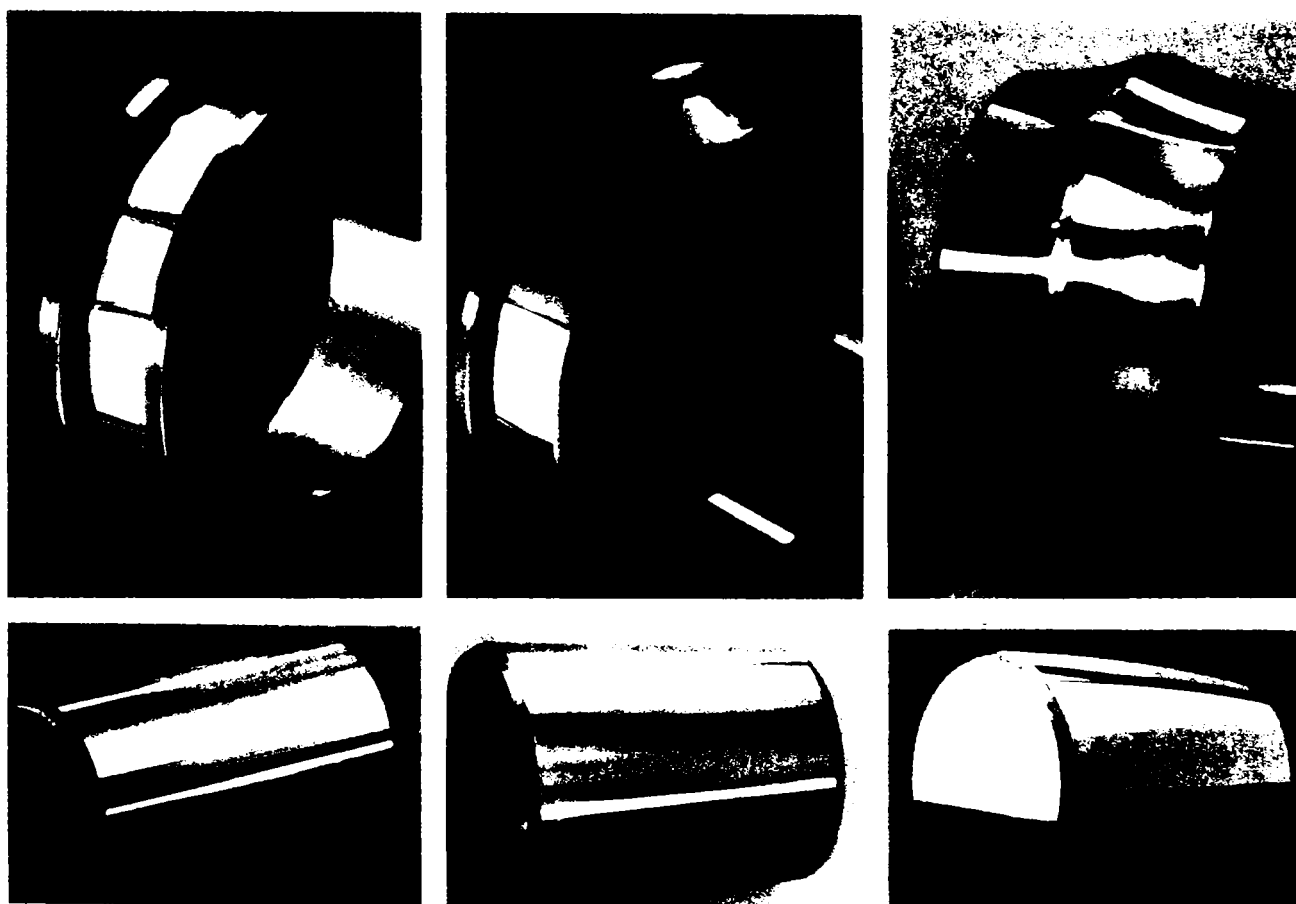
În figura 2.14 se pot vedea suprafețele plane suprafinisate ale pompelor hidraulice [34, 36].



**Figura 2.14** - Exemple de piese și suprafețe suprafinisate

### 2.1.5. Aplicații la prelucrarea rulmenților

În acest domeniu, mașinile de suprafinisat au realizat muncă de "pionerat". Așa este astăzi posibil să prelucrezi, cu precizie ridicată, în câteva secunde inele interioare și exterioare. Durata și siguranța în funcționare s-au mărit simțitor. Zgomotul în funcționare a scăzut apreciabil. Rulmenții se îmbunătățesc calitativ, dacă pe lângă calea de rulare se finisează și corpurile de rulare. În figura 2.15 se pot vedea căile de rulare și corpurile de rulare așa cum ar trebui să fie, adică suprafinisate [34].



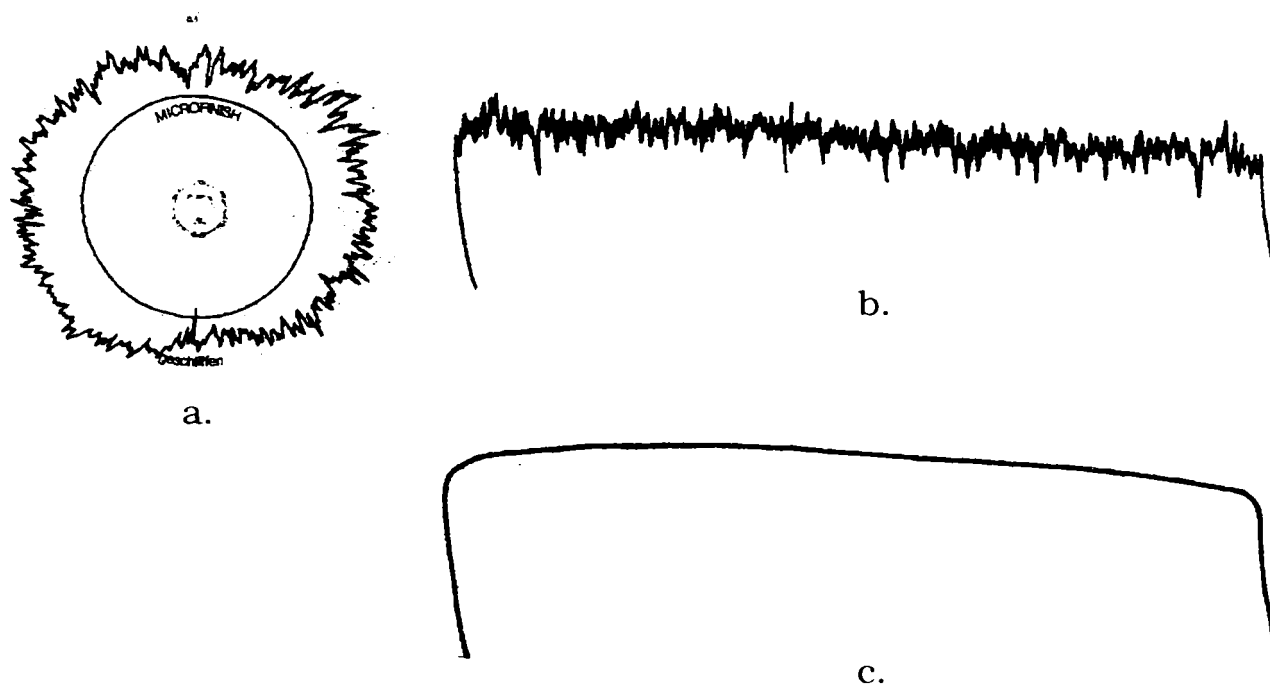
**Figura 2.15** – Căi și corpuri de rulare suprafinisate

Acele, rolele cilindrice și conice precum și rolele simetrice sau asimetrice obțin prin suprafinisare aceleași calități ca și căile de rulare.

Cât de rotund este practic rotundul? Abia după o mărire de 10.000 de ori a unei diagrame este sesizabil ce procedeu realizează de

fapt suprafețe rotunde. Norma pentru suprafinisare este de  $1\mu\text{m}$  de la cercul ideal [34].

În figura 2.16 se prezintă diagrama suprafeței radială și longitudinală a unei role conice cu  $\phi$  6mm după rectificare (figura 2.16.a, b) și după suprafinisare (figura 2.16.a, c).



**Figura 2.16** – Diagrama radială și longitudinală a unei role conice cu  $\phi$  6mm după rectificare (a, b) și după suprafinisare (a, c)

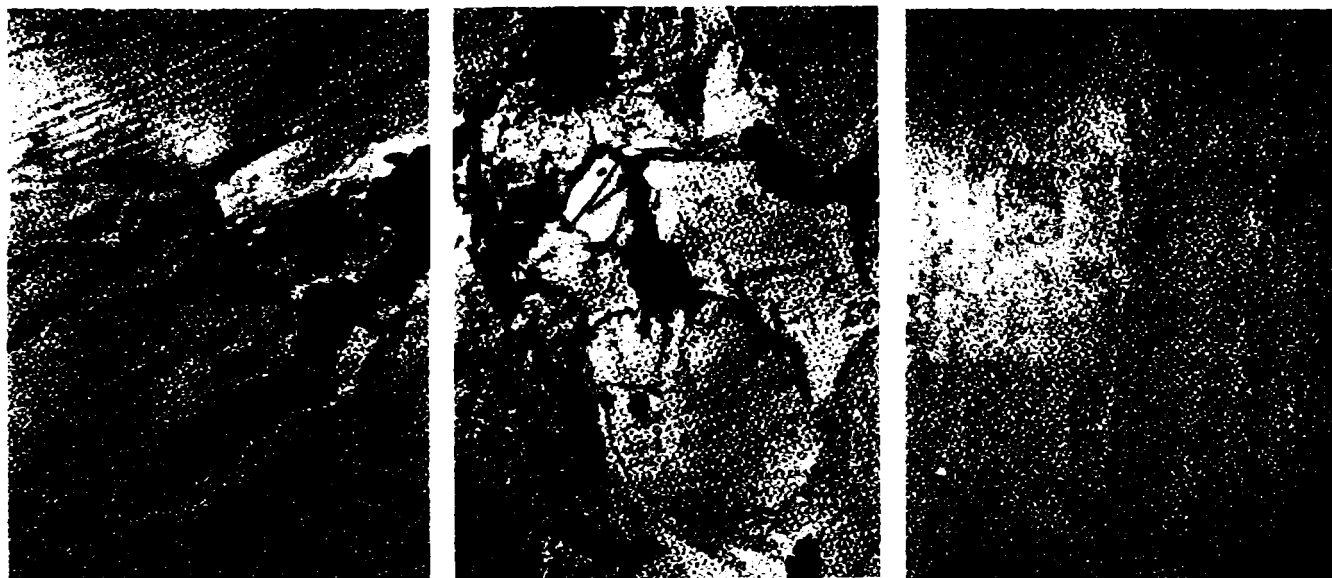
## 2.2. Aspecte privind microrelieful suprafețelor suprafinisate

Suprafețele rectificate prezintă urme de așchiere cu dimensiuni până la  $6\mu\text{m}$ , care pot înmagazina diverse particule mecanice cu dimensiuni de cca.  $1\mu\text{m}$ , care la presiuni mari sunt sudate pe suprafața piesei [34]. Aceste depuneri, precum și urmele de la rectificare sunt principalele cauze de funcționare necorespunzătoare a unei asamblări. În figura 2.17.a se poate vedea o astfel de suprafață *rectificată*, mărită de 10.000 de ori la microscopul electronic.

Deși rugozitatea este mică la lepuire, suprafața este necorespunzătoare, cu multe suduri. Această suprafață dă funcționări

necorespunzătoare la încărcări limitate. În figura 2.17.b. se poate vedea o astfel de suprafață *lepuită*, mărită de 10.000 de ori la microscopul electronic.

La suprafinisare, rugozitatea este foarte mică. Suprafața cu structură metalică curată duce la proprietăți de rulare bune, cu uzură mică și îi dă piesei o încărcare necesară la solicitări ridicate. Se poate vedea o astfel de suprafață *suprafinisată* în figura 2.17.c.



a.

b.

c.

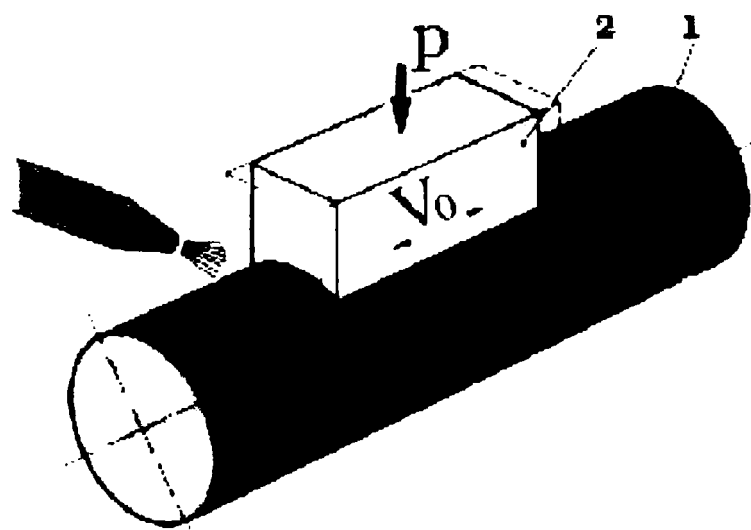
**Figura 2.17** – Suprafețe prelucrate prin: rectificare **a**, lepuire **b**, și suprafinisare **c**, văzute la microscopul electronic

### 3. SUPRAFINISAREA SUPRAFETELOR CILINDRICE EXTERIOARE

#### 3.1. Cinematica procedului de suprafinisare a suprafețelor cilindrice exterioare

Progresul tehnic și ritmul rapid de dezvoltare a industriei construcțiilor de mașini, impun condiții din ce în ce mai exigente în privința preciziei dimensionale, a formei geometrice și a calității suprafețelor prelucrate.

Procedeu de suprafinisare are o vechime de șapte decenii, fiind utilizat pentru prima dată în fabricația de automobile. Căutându-se un procedeu mai productiv, care să înlocuiască procedeu de lepuire manuală a unor suprafețe de alunecare și de rulare, s-a ajuns la procedeu de suprafinisare al cărui principiu de lucru constă în presarea unei bare abrazive prismatice dispuse pe suprafața de prelucrat, care realizează o mișcare de așchiere rectilinie-alternativă, cu viteza  $V_o$ , combinată cu mișcarea de rotație a piesei  $V_r$  (avansul circular). (vezi figura 3.1).



**Figura 3.1** – Principiul prelucrării suprafețelor cilindrice exterioare

1 – piesa, 2 – bara abrazivă.

Pentru obținerea unor grade avansate de netezire, este necesar să se utilizeze bare abrazive cu granulație foarte fină [1, 2].

Îmbunătățirea calității piesei, se obține prin acoperirea cu un număr mare de microurele ale granulelor abrazive orientate în mod diferit, care formează o rețea specifică suprafețelor suprafinisate.

În acest scop mișcările imprimare barei abrazive și piesei de către mașina-unealtă, trebuie să asigure granulelor abrazive care vin în contact cu suprafața de prelucrat, traiectorii încrucișate care să nu se suprapună.

La suprafinisarea suprafețelor cilindrice exterioare, cazul cel mai frecvent întâlnit, piesa execută o mișcare de rotație, iar bara abrazivă, care este apăsată permanent pe suprafața ce se prelucrează, execută o mișcare vibratorie după o direcție paralelă cu axa de rotație a piesei, iar dacă lungimea barei este mai mică decât lungimea piesei, aceasta mai execută și o mișcare de avans longitudinal  $V_f$ . (figura 3.1)

Considerăm o granulă abrazivă  $M$ , de pe suprafață, care prin deplasare relativă în raport cu piesa, descrie o traiectorie elicoidală. Poziția granulei, în timp și spațiu este descrisă de un vector de poziție  $\vec{r}$ , care descrie legea de mișcare a acesteia:

$$\vec{r}(t) = \bar{i} \cdot h \cdot t + \bar{j} \cdot r_1 \cdot \cos \omega_1 \cdot t + \bar{k} \cdot r_1 \cdot \sin \omega_1 \cdot t \quad (3.1)$$

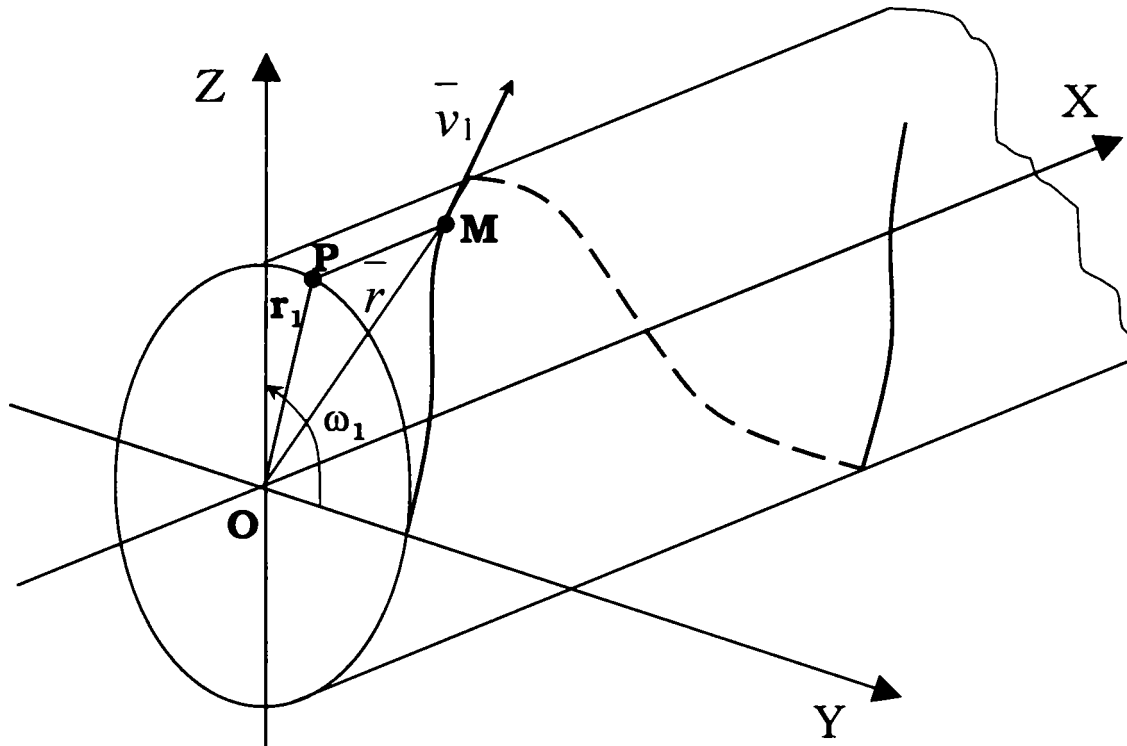
în care:  $h$  - pasul eliciei cilindrice (avansul longitudinal);

$r_1$  - raza suprafeței cilindrice;

$\omega_1$  - viteza unghiulară a piesei în mișcarea de rotație.

Ecuatiile parametrice ale traiectoriei granulei au următoarele expresii:

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= \frac{\omega_1 \cdot h}{2\pi} \cdot t \\ y(t) &= r_1 \cdot \cos \omega_1 \cdot t \\ z(t) &= r_1 \cdot \sin \omega_1 \cdot t \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$



**Figura 3.2** - Traiectoria granulei abrazive *M*,

rezultată din combinarea mișcării de rotație cu mișcarea de avans axial

Pentru calculul unghiului format între direcția vectorului viteză de așchiere și axa de rotație a piesei, numit unghi de atac  $\alpha$  (figura 3.3), s-a stabilit relația:

$$\operatorname{tg} \alpha = \pm \frac{V_r}{V_0 + V_s} \quad (3.3)$$

în care:  $V_r$  - viteza periferică a piesei;

$V_0$  - viteza mișcării oscilatorii a granulei abrazive;

$V_s$  - viteza mișcării de avans longitudinal.

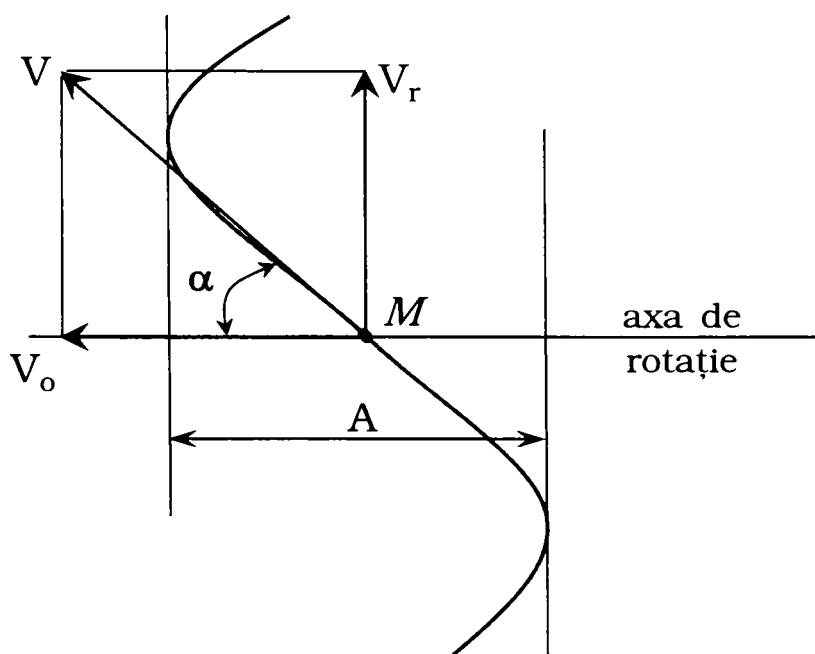
Dacă se neglijează viteza de avans longitudinal, întrucât are valori mult mai mici decât viteza mișcării oscilatorii, pentru calculul unghiului de atac se poate folosi relația:

$$\operatorname{tg}\alpha = \pm \frac{V_r}{V_0} \quad (3.4)$$

Ținând seama de notațiile:  $n$  - turația piesei,  $d = 2 \cdot r_1$  - diametrul piesei,  $A$  - amplitudinea mișcării oscilatorii,  $\gamma$  - frecvența mișcării oscilatorii, din relația (3.4) se obține:

$$\operatorname{tg}\alpha = \pm \frac{\pi \cdot d \cdot n}{2 \cdot A \cdot \gamma} \quad (3.5)$$

Relația (3.5), permite calcularea cu precizie a unghiului de atac, parametru cinematic important al procesului de suprafinisare.



**Figura 3.3** - Unghiul de atac al granulei abrazive

Pornind de la analiza cinematicii granulei abrazive singulare, s-au stabilit ecuațiile parametrice care descriu traiectoria, precum și relații



pentru calculul vitezei de aşchiere și al unghiului de atac. Aceste relații au o importanță practică, servind la determinarea parametrilor regimului de lucru la suprafinisare.

### **3.2. Evoluția procesului de aşchiere**

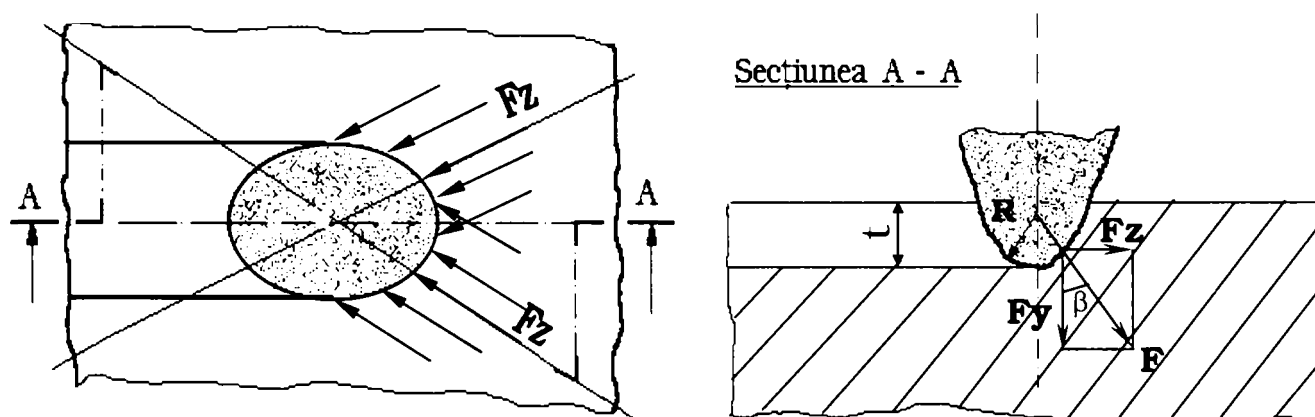
Procesul de suprafinisare este considerat ca fiind un proces mecanic de acțiune reciprocă între granulele abrazive de pe suprafața activă a sculei și stratul de la suprafața piesei care se prelucrează. Microaşchiera se produce ca urmare a pătrunderii, prin presiune, a granulelor abrazive, ale barei, în suprafața de prelucrat și realizarea unei mișcări relative între cele două, bara abrazivă și piesă. Adâncimea de pătrundere a granulelor  $t$ , depinde de duritatea materialului prelucrat și de presiunea specifică, elemente care determină valorile forțelor de aşchiere  $F_y$  și  $F_z$  (figura 3.4)

Procesul de microaşchiere se caracterizează printr-o serie de particularități, care îl deosebesc de alte procedee de prelucrare cu corpuri abrazive. Astfel, granulele abrazive de pe suprafața activă a barei, se găsesc în contact cu suprafața de prelucrat cât timp durează prelucrarea. Schimbarea direcției de mișcarea a granulelor abrazive, ca urmare a mișcării relative, permite aşchiilor să fie îndepărtate din fața granulelor, ceea ce asigură eficiența acțiunii abrazive a barei.

Inițial, când bara abrazivă este așezată pe suprafața de prelucrat, granulele vin în contact cu asperitățile cele mai mari. Presiunea specifică mare, ca urmare a suprafeței mici de contact, asigură îndepărtarea unor microaşchii de dimensiuni mai mari. Prin acțiunea reciprocă dintre granulele abrazive și stratul superficial, se produce și ruperea sau desprinderea unor granule abrazive din sculă, fenomen care menține capacitatea aşchietoare a acesteia (fenomen de autoaşchiere). Prin

îndepărtarea vârfurilor asperităților, crește suprafața de contact dintre sculă și piesă și scade presiunea specifică dintre acestea. Creșterea lungimii portante relative face ca pătrunderea granulelor în material să fie tot mai mică, forțele de așchiere mai reduse și încetinirea fenomenului de autoascuțire.

În final, suprafața prelucrată devine atât de netedă încât presiunea specifică se reduce la valori care nu mai pot asigura pătrunderea granulelor abrazive tocite în stratul superficial, iar procesul de microașchiere se întrerupe.



**Figura 3.4** – Granula abrazivă în procesul de microașchiere

Unele lucrări științifice scot în evidență necesitatea menținerii capacității așchietoare a barei abrazive în tot timpul desfășurării procesului de suprafinisare, întrucât sistarea prematură a procesului de microașchiere poate face ca pe suprafața piesei să rămână urme de la prelucrarea anterioară.

Se consideră că prin alegerea corespunzătoare a parametrilor regimului de lucru și a caracteristicilor barei abrazive, procesul de microașchiere se desfășoară continuu, iar cantitatea de material îndepărtat poate fi controlată în funcție de timpul de prelucrare.

### 3.3. Autoasculirea corpurilor abrazive

Menținerea procesului de microașchiere presupune refacerea continuă a capacității așchietoare a barei abrazive prin fenomenul de autoasculire, prin care liantul asigură desprinderea granulelor abrazive uzate pentru a aduce granule noi în poziție de lucru. Aceste bare abrazive trebuie să dispună de această proprietate de autoasculire. Autoasculirea se produce atunci când forțele de așchiere, care acționează asupra granulelor abrazive, depășesc rezistența mecanică a liantului.

Barele abrazive de porozitate ridicată și cantitate mică de liant, adică de duritate mai mică, la aceleași sarcini pe granulele abrazive se autoascul mai intens decât cele cu conținut mai mare de liant, adică mai dure. Rezultă că barele abrazive de duritate mai mică își refac mai ușor capacitatea așchietoare și asigură continuitatea procesului de microașchiere, însă uzarea lor este mai intensă, iar dacă duritatea barei este prea mică, granulele abrazive pot fi desprinse din liant înainte de a li se utiliza întreaga capacitate așchietoare.

În literatură se dau indicații pentru *alegerea durității barelor abrazive în funcție de duritatea pieselor de prelucrat*. Se știe, însă, că duritatea stratului superficial poate avea variații importante de la piesă la piesă și chiar pe suprafața unei singure piese. Pe de altă parte, numărul mare de factori de care depinde duritatea barei abrazive, fac ca aceasta să reprezinte un conglomerat de granule legate între ele prin forțe diferite, astfel că abaterile de la duritate nominală pot ajunge până la 20%. Prin urmare, alegând duritatea nominală a materialului piesei de prelucrat, în cursul procesului de suprafinisare au loc variații ale intensității autoasculirii barei abrazive care modifică ritmul procesului de microașchiere. Fenomenul este semnalat în literatură, în unele lucrări făcându-se recomandarea de a se modifica presiunea de apăsare a barei

abrazive în cursul procesului, în sensul creșterii ei, pentru refacerea capacității așchietoare a barei abrazive.

### **3.4. Influența parametrilor regimului de lucru asupra procesului de așchiere**

Regimul de lucru la suprafinisare se caracterizează prin următorii parametri (vezi figura 3.1):

- viteza mișcării de rotație a piesei ( $V_r$ )
- viteza mișcării oscilatorii a barei abrazive ( $V_o$ )
- presiunea nominală ( $p$ ) a barei abrazive pe suprafața ce se prelucurează
- avansul longitudinal al barei abrazive ( $f_l$ ), dacă lungimea piesei este mai mare ca a barei abrazive.

*Viteza de rotație a piesei ( $V_r$ )* este un parametru important, a cărui influență asupra procesului de suprafinisare a fost studiat în literatura de specialitate, care are o valoare cuprinsă între 8...80 m/min. Valorile mai mici ale vitezei de rotație asigură o intensitate mare a procesului de microașchiere, o grosime mai mare a stratului de material îndepărtat și o uzare mai intensă a sculei.

Valorile apropiate de limita superioară, asigură obținerea unei rugozități finale mai mici, o ameliorare mai importantă a abaterii de formă la circularitate, timp de prelucrare mai mic și o reducere a uzării barei abrazive. Viteze de rotație prea mari, pot determina însă diminuarea intensității procesului de microașchiere astfel încât, pe suprafața prelucrată să rămână urme de la prelucrarea anterioară.

*Viteza mișcării oscilatorii ( $V_o$ )* a barei abrazive se calculează cu frecvența ( $f$ ) și amplitudinea mișcării ( $A$ ) și deci poate fi modificată prin schimbarea celor două mărimi.

De regulă, amplitudinea mișcării rămâne neschimbată, având valori cuprinse între 3...5 mm. Pentru frecvența mișcării, valorile sunt cuprinse între 500...3000 c.d./min, în funcție de tipul acționării. Rezultă că viteza mișcării oscilatorii poate avea valori cuprinse între: 3...30 m/min. În unele publicații se consideră că valorile mai mari ale frecvenței, și deci ale vitezei mișcării oscilatorii asigură obținerea unor rugozități finale mai mici, într-un timp mai scurt de prelucrare. Cantitatea de material îndepărtat sub formă de microașchii reducându-se, există și în acest caz pericolul rămânerii pe suprafața prelucrată a unor urme de la prelucrarea anterioară.

Pornind de la faptul că viteza totală a granulelor abrazive pe suprafața de prelucrat, este suma vitezelor de rotație și oscilatorie, se analizează influența acestora asupra procesului de suprafinisare, în interdependența lor. Raportul dintre viteza de rotație și viteza mișcării oscilatorii este unghiul de atac  $\alpha$ . La valori ale unghiului de atac  $\alpha=30...50^\circ$ , are loc o microașchiere mai intensă, prin faptul că granulele abrazive, având o schimbare importantă a direcțiilor de acțiune, lucrează cu diferite muchii așchietoare, schimbându-se și direcțiile de acțiune ale forțelor de așchiere asupra granulelor abrazive, ceea ce asigură autoascutirea intensă a barei abrazive. La valori ale unghiului de atac  $\alpha=65...85^\circ$ , schimbarea direcțiilor de acțiune ale granulelor este mai puțin importantă, traiectoriile granulelor pe suprafața de prelucrat sunt apropiat de forme circulare. Granulele lucrează numai cu anumite muchii așchietoare, care se uzează și în final degajă mai greu microașchiile. Forțele de așchiere, având o variație de direcție mai mică, produc în mai mică măsură autoascutirea barei abrazive. Porii barei abrazive se umplu cu microașchii și porțiuni de granule abrazive uzate, ceea ce face ca pătrunderea granulelor abrazive în stratul superficial al piesei prelucrate să se facă pe adâncimi foarte mici. Ca urmare, se

reduce grosimea stratului de material îndepărtat și se pot obține rugozități finale foarte mici.

Ținând seama de necesitatea înlăturării urmelor de la prelucrarea anterioară, cât și de asigurarea anumitor rugozități finale prescrise, se consideră că valoarea optimă a unghiului de atac trebuie să fie cuprinsă între  $\alpha=60...70^\circ$ . Pentru a se asigura capacitatea de producție maximă, se recomandă să se lucreze cu frecvența maximă admisă de mașina de suprafinisat, și cu o viteză de rotație a piesei, care să asigure un unghi de atac cuprins între valorile amintite. Se poate folosi în acest scop, relația (3.5).

*Presiunea nominală a barei abrazive pe suprafața de prelucrat ( $p$ )*, este un parametru foarte important al procesului de suprafinisare, având influență directă asupra intensității microașchierii și rugozității finale obținute. Valorile între care variază acest parametru, după cum rezultă din literatură de specialitate, sunt cuprinse între  $p = 0,05 \dots 0,6 \text{ N/mm}^2$ , ajungând în cazuri speciale chiar la  $1 \text{ N/mm}^2$ . Se consideră că prin ridicarea presiunii spre limita superioară, capacitatea de producție a procesului de suprafinisare crește, îndepărtându-se o cantitate mai mare de material în unitate de timp. Aceasta se explică prin pătrunderea pe o adâncime mai mare a granulelor abrazive în stratul superficial și prin intensificarea autoascuțirii, ca urmare a forțelor de așchiere mai mari ce acționează asupra granulelor. La presiuni mici, datorită stratului mic de metal înlăturat, rămân urme de la prelucrarea anterioară, care măresc rugozitatea medie. Odată cu mărirea presiunii, stratul de metal înlăturat crește, urmele de la prelucrarea anterioară sunt înlăturate în întregime, iar rugozitatea se micșorează. La valori mai mari ale presiunii nominale, rugozitatea finală are tendința de a se mări, bara abrazivă având o autoascuțire intensă, astfel că lucrează cu granule abrazive ascuțite care pătrund pe adâncime mare în stratul superficial.

Pentru influențarea autoascuțirii barei abrazive și implicit a intensității microașchierii, se recomandă modificarea valorii presiunii nominale în timpul prelucrării, în sensul de a se mări spre sfârșitul ciclului de prelucrare.

Prin aceasta, presiunea reală poate fi menținută la o valoare ridicată, deși suprafața portantă crește spre sfârșitul prelucrării. Prin creșterea presiunii nominale, însă, simultan cu creșterea cantității de material înlăturat, crește și uzura barei abrazive. La o anumită valoare a presiunii nominale, numită *presiune critică*, raportul dintre viteza de îndepărtare a materialului și viteza de uzare a barei abrazive este maxim. Dacă se depășește această valoare a presiunii, se produce o uzare accentuată a barei abrazive.

*Avansul longitudinal al barei abrazive ( $f_l$ )*, este necesar în cazurile în care suprafața de prelucrat are lungimea mai mare decât lungimea barei abrazive. Pentru viteza de avans longitudinal ( $V_f$ ) se recomandă valori cuprinse între 30...200 mm/min. Avansul longitudinal determină modificarea traiectoriilor granulei abrazive, ceea ce favorizează intensificarea procesului de microașchiere și reducerea timpului de prelucrare. Pentru avansul pe rotație se recomandă ca mărimea acestuia să se încadreze în intervalul: 1/20...1/5 din lățimea barei abrazive.



### **3.4.1. Influența lichidului de spălare-răcire asupra performanțelor prelucrării**

La suprafinisare este necesară stropirea abundentă cu lichid care, prin mișcarea relativă dintre sculă și piesă, ajunge în zona activă de prelucrare. Lichidul are un rol mai redus de răcire și mai mare de spălare a microașchiilor și a granulelor abrazive uzate și desprinse din liant, deci de curățire permanentă a suprafeței active a barei abrazive de impuritățile mecanice din zona de lucru. Are, de asemenea, rolul de a forma o peliculă protectoare care să se opună lipirii așchiilor pe granulele abrazive.

Mediul de lucru cel mai utilizat este constituit dintr-un amestec de petrol lampant (85-90%) și ulei de fusuri (15-10%). Compoziția acestuia influențează într-o oarecare măsură procesul de suprafinisare în sensul că, mărinđ procentajul de ulei se obțin rugozități mai mici. În acest fel, granulele abrazive uzate sunt îndepărtate mai greu și se umplu porii suprafeței active a piesei cu granule abrazive fine, reducându-se astfel intensitatea microașchierii, facilitând obținerea unei rugozități mai mici. Dacă se micșorează procentul de ulei și deci vâscozitatea amestecului, crește capacitatea lichidului de a spăla granulele abrazive uzate și microașchiile, se intensifică procesul de microașchiere prin creșterea capacității așchietoare a barei abrazive, iar rugozitatea finală obținută are valori mai mari. Influența vâscozității lichidului de spălare-răcire asupra rugozității finale obținute prin suprafinisare este însă mică în comparație cu influența altor parametri ai procesului, fiind în general neglijată.

Utilizarea unor lichide de spălare-răcire apoase, de tipul emulsiilor, nu este recomandată, deoarece influențează duritatea barelor abrazive, în sensul reducerii acesteia cu 10-50% producând uzarea excesivă și chiar spargerea barei abrazive.



Importanță deosebită o are separarea lichidului de spălare-răcire de impuritățile mecanice din proces. Gradul de separare are influență asupra rugozității finale a suprafeței, în special atunci când se urmărește obținerea unor suprafețe cu grad ridicat de netezire. Filtrarea lichidului trebuie să asigure reținerea granulelor abrazive spălate și a microașchiilor, în care scop filtrele se prevăd și cu elemente magnetice.

Se recomandă un debit mediu de lichid de 0,08 litri/secundă, care se modifică în funcție de mărimea presiunii specifice de lucru..

### **3.5. Stabilirea regimurilor de lucru la suprafinisare**

#### **3.5.1. Pregătirea pieselor pentru prelucrare**

Pregătirea pieselor se face în corelație cu posibilitățile procedului, ținându-se cont că abaterile macrogeometrice nu sunt corectate în totalitate prin suprafinisare, recomandându-se ca preciziile dimensionale și de formă geometrică să fie asigurate de către procedeul anterior de prelucrare (rectificare).

Pentru ca pe suprafața suprafinisată să nu rămână urme de la rectificare, este necesar ca adausul de prelucrare stabilit să depășească înălțimea neregularităților profilului rezultate la rectificare. La stabilirea valorii adausului se folosesc relațiile:  $h=2,25 \cdot R_z$  sau  $h=10 \cdot R_a+1$ , în care  $R_z$  și  $R_a$  sunt parametrii rugozității inițiale. De regulă, valoarea adausului nu depășește 10...15 $\mu$ m astfel încât, piesa poate fi încadrată în câmpul de toleranță chiar de la operația de rectificare.

La suprafinisarea pieselor cu rugozitate mare sau atunci când se necesită înlăturarea unui strat deformat de grosime mai mare, trebuie prevăzut un adaus de prelucrare corespunzător.

Rugozitatea inițială cea mai potrivită pentru începerea suprafinisării este  $R_a=0,5...0,9\mu$ m. O rugozitate inițială mai mare mărește timpul de

prelucrare și uzarea barei abrazive, iar rugozitatea inițială mai mică face dificilă rodarea barei abrazive și autoascuțirea barei abrazive.

### **3.5.2. Alegerea corpurilor abrazive**

Are o importanță hotărâtoare asupra desfășurării procesului de suprafinisare.

Din punct de vedere dimensional, lățimea barei abrazive se stabilește în funcție de diametrul  $D$  al piesei de prelucrat, pe baza relației:  $(0,5-0,6) \times D$ , care asigură un unghi de cuprindere a circumferinței suprafeței prelucrate este de  $60...75^\circ$ . Lățimea barei abrazive a fost standardizată la următoarele valori: 4, 6, 10, 13, 18, 20, 25 și 30 mm. Lățimi mai mari nu sunt recomandate întrucât accesul lichidului de spălare-răcire în zona de lucru se face mai dificil, ceea ce poate duce la înrăutățirea calității suprafeței prelucrate. Pentru prelucrarea pieselor cu diametre mai mari, se pot utiliza 2...4 bare abrazive fixate într-un suport special. În cazul unor lățimi ale barei abrazive mai mici de  $0,4 \times D$ , ameliorarea formei geometrice prin corectarea abaterilor de la circularitate, se realizează în mai mică măsură.

Lungimea barelor abrazive a fost, de asemenea, standardizată, la valorile de 40 și 60 mm. Alte lungimi sunt adoptate numai în cazuri speciale.

La prelucrarea fără avans longitudinal, a suprafețelor scurte, lungimea barei abrazive trebuie să fie egală cu lungimea suprafeței.

La alegerea calității barei abrazive se au în vedere: natura materialului abraziv, natura liantului, granulația, și duritatea barei abrazive. Aceste caracteristici ale barelor abrazive se aleg în funcție de calitatea materialului, de prelucrat, și duritatea stratului superficial, rugozitatea inițială și rugozitatea finală prevăzută.

Pentru suprafinisarea pieselor din oțel se pot utiliza bare cu granule abrazive din carborund (SiC) sau electrocorund (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). La prelucrarea pieselor din fontă sau materiale neferoase se recomandă granule de carborund.

Barele abrazive pentru suprafinisare sunt executate preponderent cu liant ceramic, motivat de faptul că asigură autoascutirea. Având rigiditate mare, liantul ceramic permite granulelor abrazive să pătrundă în stratul superficial al piesei ce se prelucrează pentru a efectua o microașchiere intensă. Pentru suprafinisarea unor piese din oțeluri speciale, cum sunt de exemplu oțelurile inoxidabile sau refractare, se recomandă ca prelucrarea finală să se facă utilizând bare abrazive cu liant de bachelită și grafit. Grafitul din liant previne aderența microașchiilor la suprafața activă a sculei.

Granulația barei abrazive se alege în funcție de rugozitatea inițială a suprafeței și de rugozitatea finală cerută. *Cu cât este mai mare rugozitatea inițială, cu atât granulația barei poate fi mai mare.* Mărirea granulației duce la creșterea productivității, dar în același timp și la rugozitate finală mai mare. Pentru a obține o anumită rugozitate finală, în literatură sunt indicate dimensiunile materialelor abrazive, care sunt cuprinse între M40...M3 - în sistemul metric, respectiv 320...1000 - în țoli, (STAS 1753/1-90 și 1753/2-91).

Având în vedere că odată cu reducerea granulației se reduce și grosimea stratului de material înlăturat, *pentru obținerea unor rugozități foarte reduse este necesar să se utilizeze succesiv 2-3 bare abrazive cu granulație din ce în ce mai mică.*

Duritatea barei abrazive se alege în funcție de calitatea materialului prelucrat, de duritatea sa și de rugozitatea inițială. *Cu cât este mai mare duritatea materialului de prelucrat, cu atât duritatea barei abrazive trebuie să fie mai mică. Rugozități inițiale mai mari, necesită bare abrazive de duritate mai mare.*

### 3.5.3. Alegerea parametrilor regimului de lucru

Presupune alegerea vitezei de rotație și a vitezei mișcării oscilatorii, a presiunii specifice, timpului de prelucrare și avansului longitudinal (dacă este cazul).

Este cunoscută influența unghiului de atac  $\alpha$  asupra intensității procesului de microașchiere la suprafinisare și asupra rezultatelor prelucrării. O intensitate mare a procesului de microașchiere și deci înlăturarea rapidă a adausului de prelucrare care conține urmele rămase de la rectificare se obține la unghiul de atac  $\alpha=30...50^{\circ}$ . Prin mărirea vitezei de rotație a piesei și creșterea unghiului de atac  $\alpha$  la valori de  $65...85^{\circ}$ , scade intensitatea procesului de microașchiere.

S-a stabilit experimental că la prelucrarea cu o singură bară abrazivă se atinge rugozitatea finală prescrisă într-un timp minim, dacă se lucrează în *proces gradat*, caracterizat prin mărirea unghiului de atac spre finalul prelucrării. Modificarea valorii unghiului de atac se face prin mărirea turației piesei și menținerea constantă a vitezei mișcării oscilatorii a barei abrazive. Este indicat deci să se lucreze cu două regimuri de prelucrare, în așa-zisul *proces gradat* pe etape.

În prima etapă, are loc înlăturarea adausului de prelucrare și ameliorarea formei geometrice a suprafeței prelucrate, iar în a doua etapă, se obține o rugozitate finală foarte mică.

**Viteza de rotație a piesei** ( $V_r$ ) în prima etapă este de 8...20 m/min, iar în a doua etapă, de 40...80 m/min.

**Timpul** pentru cele două etape ale procesului trebuie stabilit experimental, pentru fiecare prelucrare în parte.

Având influență mai redusă asupra desfășurării procesului de suprafinisare și posibilități mai reduse de reglare a **vitezei mișcării oscilatorii** ( $V_o$ ), se recomandă ca aceasta să se păstreze constantă la

valoarea maximă pe care o poate realiza mașina de suprafinisat, care frecvent are valori cuprinse în intervalul 6...20 m/min.

**Avansul longitudinal al sculei** ( $V_f$ ) se folosește la prelucrarea unor suprafețe cu lungime mai mare decât lungimea barei abrazive și se stabilește în funcție de timpul necesar prelucrării și în corelație cu numărul de treceri ale barei abrazive pentru atingerea rugozității finale prescrise. Valorile recomandate ale vitezei de avans sunt cuprinse în intervalul  $V_f = 30...200$  mm/min.

**Presiunea nominală de apăsare a sculei** pe suprafața de prelucrat se alege în funcție de calitatea materialului piesei și de duritatea stratului de la suprafața piesei. La suprafinisarea pieselor din oțel, se recomandă presiuni de 0,14...0,45 N/mm<sup>2</sup>, iar dacă duritatea este ridicată, presiunea poate atinge valori de 0,06...0,08 N/mm<sup>2</sup>. Pentru suprafinisarea pieselor din fontă cenușie, se recomandă presiuni de 0,14...0,25 N/mm<sup>2</sup>, iar pentru piese din materiale neferoase, 0,05...0,15 N/mm<sup>2</sup>.

**Timpul de prelucrare** ( $t_p$ ) depinde de un număr mare de factori, dintre care precizăm: diametrul și lungimea suprafeței prelucrate, duritatea stratului superficial al piesei, valoarea adausului de prelucrare, viteza de așchiere, caracteristicile barei abrazive și rugozitatea finală necesară. Se recomandă stabilirea experimentală a timpului de prelucrare, pentru fiecare tip de piesă prelucrată.

*Alegerea caracteristicilor optime ale sculei precum și a parametrilor regimului de lucru, se poate face corect numai pe cale experimentală, pentru fiecare caz tehnologic concret. Iar când se trece la utilizarea unui nou lot de bare abrazive, este necesară o nouă determinare experimentală a parametrilor regimului de lucru întrucât caracteristicile barelor abrazive pot prezenta diferențe semnificative.*

Urmărindu-se extinderea posibilităților procedului de suprafinisare și a productivității lui, în ultimii ani s-au întreprins cercetări vizând atât perfecționarea barelor abrazive cât și a procedului însuși, cum sunt: utilizarea barelor din elbor (borazon) și a barelor diamantate, utilizarea vibrațiilor ultrasonore, suprafinisarea electrochimică.

*Barele abrazive din elbor*, prezintă avantajul că își păstrează capacitatea așchietoare și la viteze de așchiere mari. La barele abrazive obișnuite, procesul de microașchiere se reduce considerabil la valori ale raportului  $V_r/V_0=6...10$ . În cazul barelor din elbor, procesul de microașchiere se menține la o intensitate ridicată, chiar la valori ale raportului  $V_r/V_0=12...15$  și permite obținerea unor rugozități finale  $R_a=0,2...0,1\mu m$ . Pentru rugozități mai mici este necesară o a doua prelucrare, cu o bară abrazivă cu granule de carborund.

*Barele abrazive diamantate*, au tendința de a fi extinse, prin asimilarea industrială a metodelor de obținere a diamantelor sintetice. Utilizarea barelor diamantate la suprafinisare mărește considerabil capacitatea de producție a procesului, durabilitatea lor fiind de câteva zeci de ori mai mare decât a barelor abrazive obișnuite. Granula de diamant își păstrează timp îndelungat proprietățile așchietoare și asigură o înlăturare intensivă a metalului. Bara diamantată este formată dintr-un suport metalic și un strat activ cu diamant. În compoziția stratului activ, pe lângă micropulberea de diamant, intră liantul și un material de umplere. Ca liant, se folosesc materiale metalice, organice (bachelită) sau ceramice. Ca materiale de umplere se utilizează: carbură de bor, electrocorund, carborund, sau bioxid de siliciu. Micropulberea de diamant reprezintă 25% din volumul stratului activ, iar restul de 75% îl formează liantul și materialul de umplere. Grosimea stratului activ este de 1...5mm, în funcție de dimensiunile barei.

Alegerea barelor diamantate se face în general pe baza aceluiași reguli stabilite la suprafinisarea cu bare abrazive obișnuite. Presiunea

specifică la prelucrarea pieselor din oțel călit, care asigură o productivitate ridicată și rugozitate fină, este de 0,15...0,25 N/mm<sup>2</sup>. Barele abrazive diamantate prezintă însă și următoarele inconveniente: se adaptează mai greu la forma piesei prelucrate, iar prețul de cost este încă ridicat.

*Suprafinisarea cu ultrasunete*, constă în aceea că barei abrazive, pe lângă mișcarea oscilatorie obișnuită, i se imprimă oscilații suplimentare cu frecvența de 18...22 kHz și amplitudinea de 5...15 μm, în direcție perpendiculară pe direcția mișcării oscilatorii obișnuite. Aceasta se obține prin introducerea în construcția mașinii de suprafinisat, a unui convertizor de ultrasunete pentru transformarea oscilațiilor electrice de înaltă frecvență în vibrații mecanice. Alimentarea convertizorului se face de la un generator de ultrasunete magnetostrictiv.

Pe lângă favorizarea autoascuțirii, vibrațiile ultrasonore asigură barei abrazive proprietăți așchietoare suplimentare. Granulele abrazive se despică formând muchii așchietoare suplimentare multiple.

Înlăturarea metalului la suprafinisarea cu ultrasunete este mai ridicată decât la suprafinisarea obișnuită, iar rugozitatea finală este mai mare. Ca urmare, *procedeul se recomandă pentru prelucrări de suprafinisare în prima fază*, care trebuie să fie urmate de prelucrări finale prin suprafinisare obișnuită.

*Suprafinisarea electrochimică*, este un procedeu ce combină dizolvarea electrochimică a metalului din stratul superficial al piesei prelucrate, în prima fază a prelucrării, cu suprafinisarea obișnuită în a doua fază a prelucrării. Suprafinisarea electrochimică este o variantă a procedurii electrochimice de prelucrare, bazat pe proprietatea atomilor metalului de a trece în soluție, sub acțiunea curentului electric de polarizare anodică. Avantajul acestui procedeu constă în independența procesului de suprafinisare față de duritatea și tenacitatea materialului piesei prelucrate.



## Concluzii

Avantajele pe care le asigură procedeul de suprafinisare privind creșterea durabilității pieselor în exploatare, au determinat în ultimii ani extinderea lui considerabilă în industria constructoare de mașini. Deși utilizat prima dată în urmă cu șapte decenii, procesul de suprafinisare a fost puțin studiat. În ultimii patruzeci de ani de ani, ca urmare a extinderii procedeeului în industrie, se constată o dezvoltare a cercetării lui, literatura de specialitate fiind totuși restrânsă.

Ca și alte procedee de netezire, suprafinisarea utilizează o bară abrazivă de granulație fină și se caracterizează prin particularități importante, care o deosebesc de restul procedeeelor de prelucrare cu abrazivi. La suprafinisare, pe toată durata prelucrării, granulele abrazive se găsesc în contact cu suprafața de prelucrat. Degajarea granulelor abrazive de microașchiile desprinse de pe suprafața prelucrată este posibilă datorită mișcării oscilatorii a barei abrazive, care face ca granulele să așchieze alternativ cu diferite muchii așchietoare și cu ajutorul lichidului de spălare-răcire care ajunge între suprafața activă a barei abrazive și suprafața prelucrată.

O caracteristică importantă a procesului de suprafinisare constă în necesitatea autoascuțirii barei abrazive, prin care aceasta să-și refacă permanent capacitatea așchietoare. În acest scop, la suprafinisare se lucrează cu bare abrazive având duritatea mai mică decât la alte procedee de prelucrare cu bare abrazive. Alegerea durității barei abrazive se face în funcție de duritatea stratului superficial al piesei de prelucrat respectându-se în general următoarea recomandare: *cu cât duritatea piesei este mai mare, cu atât duritatea barei abrazive trebuie să fie mai mică*. Se remarcă însă că barele abrazive pot avea abateri de la duritatea nominală până la 20% și chiar mai mult. Având în vedere și abaterile de la duritatea nominală ale pieselor de prelucrat, ca urmare a stăpânirii



imperfecte a tratamentelor termice, rezultă că autoascuțirea barei abrazive în decursul prelucrării, poate suferi variații importante. Modificarea capacității așchietoare a barei abrazive influențează atât capacitatea de producție a procedeului și uzura barei abrazive, cât și rugozitatea finală obținută, care diferă de la piesă la piesă și chiar pe suprafața unei singure piese.

Parametrii regimului de lucru la suprafinisare: viteza mișcării de rotație a piesei, viteza mișcării oscilatorii a barei abrazive, presiunea de apăsare a barei abrazive pe suprafața în prelucrare și în unele cazuri avansul longitudinal al barei. În literatura de specialitate nu sunt date relații de calcul pentru valorile optime ale parametrilor regimului de lucru, așa cum se găsesc pentru alte procedee de prelucrare prin așchiere. Se indică numai valorile limită între care se pot găsi acești parametrii de lucru, recomandându-se stabilirea experimentală a valorilor optime, pentru fiecare caz tehnologic concret. Fiind cunoscută dispersia valorilor durității barei abrazive și a materialului pieselor de prelucrat, se recomandă restabilirea parametrilor regimului de lucru chiar și la utilizarea unui lot de bare abrazive sau la începerea prelucrării unui nou lot de piese.

Considerat la început ca un proces cu sistare automată [2, 3], cercetări mai recente scot în evidență unele din posibilitățile de influențare a desfășurării procesului de microașchiere, pentru menținerea intensității microașchierii la un nivel ridicat, pe toată durata ciclului de prelucrare. În timpul prelucrării se relevă influența modificării vitezei de rotație a piesei și implicit a unghiului de atac  $\alpha$  asupra desfășurării microașchierii. Se consideră că prin modificarea presiunii barei abrazive, în sensul creșterii ei spre sfârșitul ciclului de prelucrare, autoascuțirea barei abrazive poate fi influențată, iar intensitatea procesului de suprafinisare, menținută la un nivel corespunzător.

În concluzie se poate afirma că la suprafinisare, parametrii regimului de lucru stabiliți experimental, în lipsa unor relații de calcul, din cauza dispersiei caracteristicilor materialului pieselor și barelor abrazive, nu permit obținerea unor rezultate constante privind capacitatea de producție, consumul de bare abrazive și calitatea suprafețelor prelucrate.

## 4. CERCETĂRI TEORETICO-EXPERIMENTALE

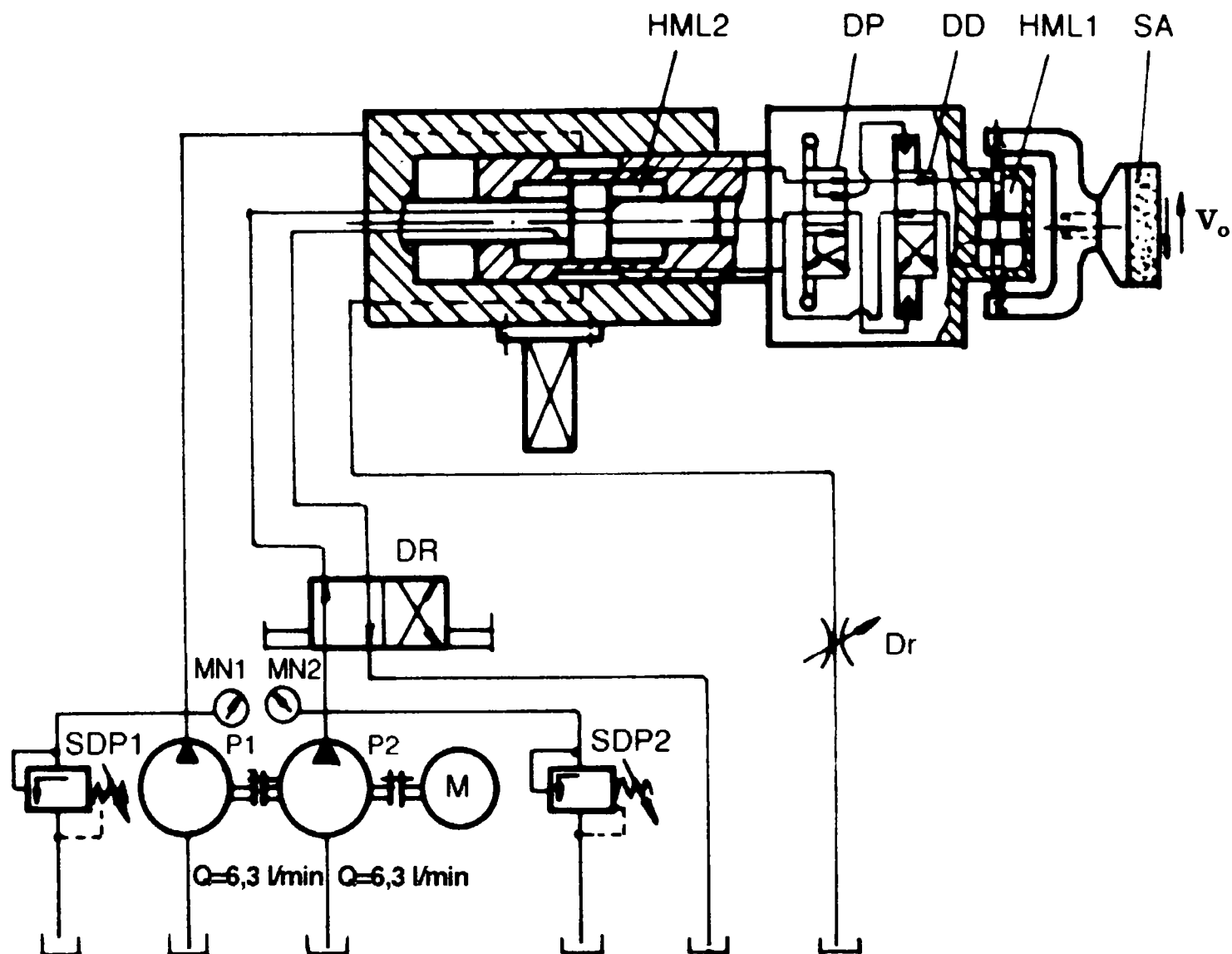
### 4.1. Instalația experimentală

Este cunoscut faptul că procedeul de suprafinisare reprezintă un proces mecanic de acțiune reciprocă între granulele barei abrazive și stratul superficial al piesei ce se prelucrează, *fiind un caz particular al procesului de așchiere*. Procesul de microașchiere care are loc în timpul suprafinisării, este asemănător cu fenomenul de uzare abrazivă ce apare ca efect al frecării dintre două corpuri solide, fapt semnalat și în literatura de specialitate [1, 7, 13, 22]. Prin urmare, forțele de așchiere care apar în timpul prelucrării sunt echivalente cu forțele de așchiere dintre piesa de prelucrat și bara abrazivă. Valoarea forței de așchiere rezultă ca produsul dintre forța de apăsare a barei abrazive și coeficientul de frecare, a cărui valoare medie este  $\mu = 0,35$  [22 pag. 11]. În funcție de condițiile concrete în care se desfășoară prelucrarea, coeficientul de frecare își poate modifica valoarea.

Rezultă, deci, că *forța de frecare este o mărime de ieșire a procesului de suprafinisare, care trebuie să reflecte cel mai bine esența fenomenelor care au loc în zona de contact dintre bara abrazivă și piesa de prelucrat*. Prin măsurarea continuă a forței de așchiere (care de fapt este forța de așchiere), se obțin informații asupra desfășurării procesului de suprafinisare. Tendința de scădere a forței de așchiere va indica astfel o reducere a valorii coeficientului de frecare, deci o reducere a intensității procesului de microașchiere. Dacă forța de așchiere are o tendință de creștere, aceasta trebuie să indice intensificarea microașchierii, care cauzează creșterea valorii coeficientului de frecare.

Data fiind cinematica procedeului de suprafinisare, apar *două componente ale forței de așchiere: forța tangențială  $F_t$* , care are aceeași

direcție și sens cu vectorul viteză periferică, și *forța axială*  $F_a$ , care este paralelă cu direcția mișcării oscilatorii a barei abrazive și variabilă periodic ca sens.

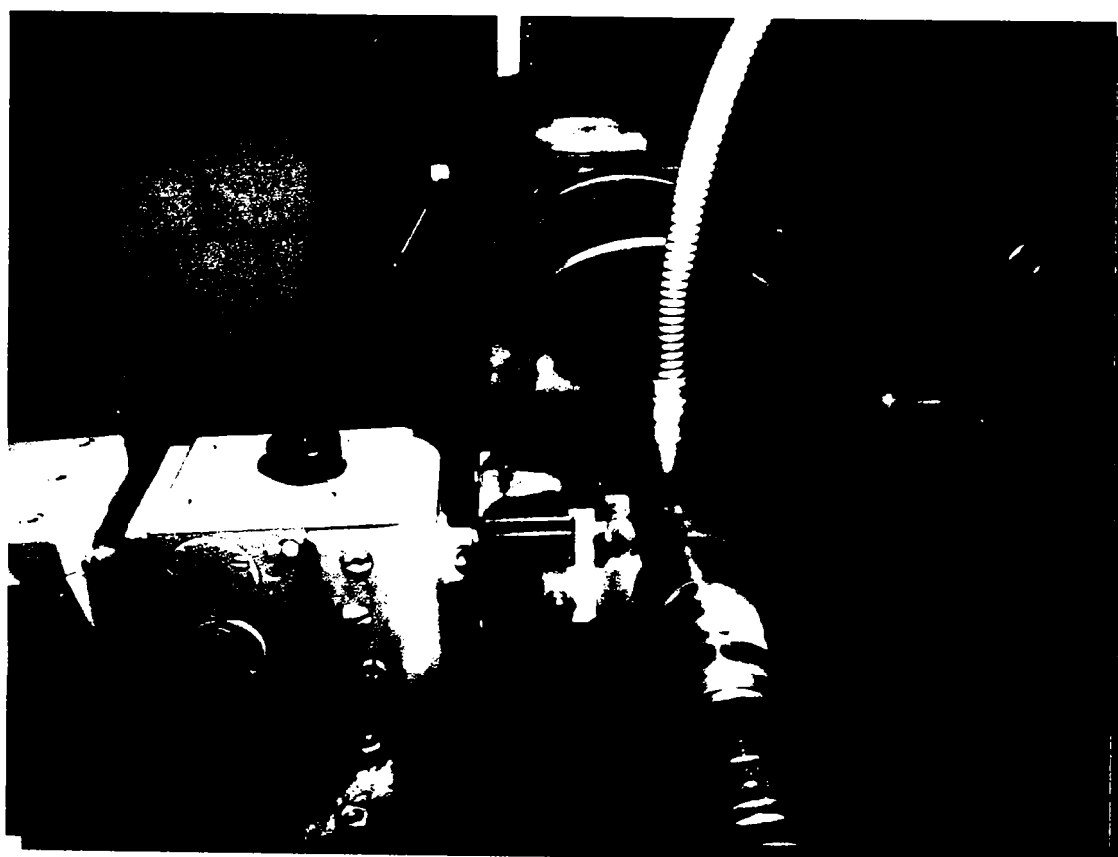


**Figura 4.1** – Schema acționării hidraulice a unității de suprafinisat, pentru mișcarea rectilinie-alternativă și apăsarea barei abrazive

În imaginile 4.2, a, b și c este prezentată instalația experimentală folosită de autor pentru suprafinisarea cilindrică exterioară.



**Figura 4.2.a**



**Figura 4.2.b**



**Figura 4.2.c**

Instalația experimentală pentru  
suprafinisarea cilindrică exterioară

Forța tangențială  $F_t$ , este o componentă importantă a forței de așchiere, care are valoare mai mare și este în același timp și mai ușor măsurabilă, valoarea sa fiind continuă, spre deosebire de componenta axială  $F_a$ .

Se consideră deci că, dintre mărimile de ieșire ale procedurii de suprafinisare, *forța de așchiere tangențială* (care în continuare se va nota cu  $F$  pentru simplificare) *trebuie să caracterizeze însăși esența*

*fenomenelor ce au loc în zona de contact dintre bara abrazivă și piesă și este deci cea mai potrivită ca mărime controlată a procesului.*

Pentru cercetări experimentale privind forța de aşchiere dintre bara abrazivă și piesa de prelucrat, s-a conceput și realizat o instalație experimentală bazată pe o unitate de suprafinisat suprafețe cilindrice exterioare, de tip ESZA 500, cu acționare hidraulică, montată pe strung. Unitatea permite realizarea mișcării oscilatorii a barei abrazive și a forței de apăsare, prin acționări hidraulice. Mișcarea de rotație a piesei și avansul longitudinal al barei abrazive se obțin cu ajutorul lanțurilor cinematice ale strungului pe care se montează unitatea de suprafinisat.

În figura 4.1 este redată schema acționării hidraulice prin care se realizează mișcarea oscilatorie și forța de apăsare a barei abrazive. Pentru mișcarea oscilatorie, pompa P1 trimite uleiul sub presiune la hidromotorul HML1, care acționează suportul barei abrazive. Dirijarea uleiului în cele două cavități ale hidromotorului se efectuează prin distribuitorul deplasabil DD, comandat hidraulic de către distribuitorul pilot DP. Ultimul este comandat mecanic, prin pârghii, de la opritoare fixate pe suportul barei abrazive. Prin modificarea poziției acestora, amplitudinea mișcării oscilatorii se poate regla între 2 ... 8 mm. Frecvența mișcării oscilatorii poate fi reglată continuu, între 200 ... 2000 c.d./min, prin intermediul droselului Dr. Supapa de descărcare a presiunii SDP1 nu permite depășirea presiunii limită prereglate. Pentru apăsarea barei abrazive, uleiul sub presiune furnizat de pompa P2, este dirijat la hidromotorul HML2 prin distribuitorul DR. Supapa de descărcare a presiunii SDP2, care are forța arcului reglabilă, permite modificarea presiunii a cărei valoare  $P_H$  trebuie să realizeze presiunea  $P_S$  a barei abrazive pe suprafața piesei de prelucrat. Presiunea  $P_H$  se determină cu expresia:

$$P_H = \frac{p_s \cdot A}{S_p} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (4.1)$$

în care: A – aria suprafeței active a barei abrazive [mm<sup>2</sup>];

S<sub>p</sub> – 36 mm<sup>2</sup> suprafața activă a pistonului.

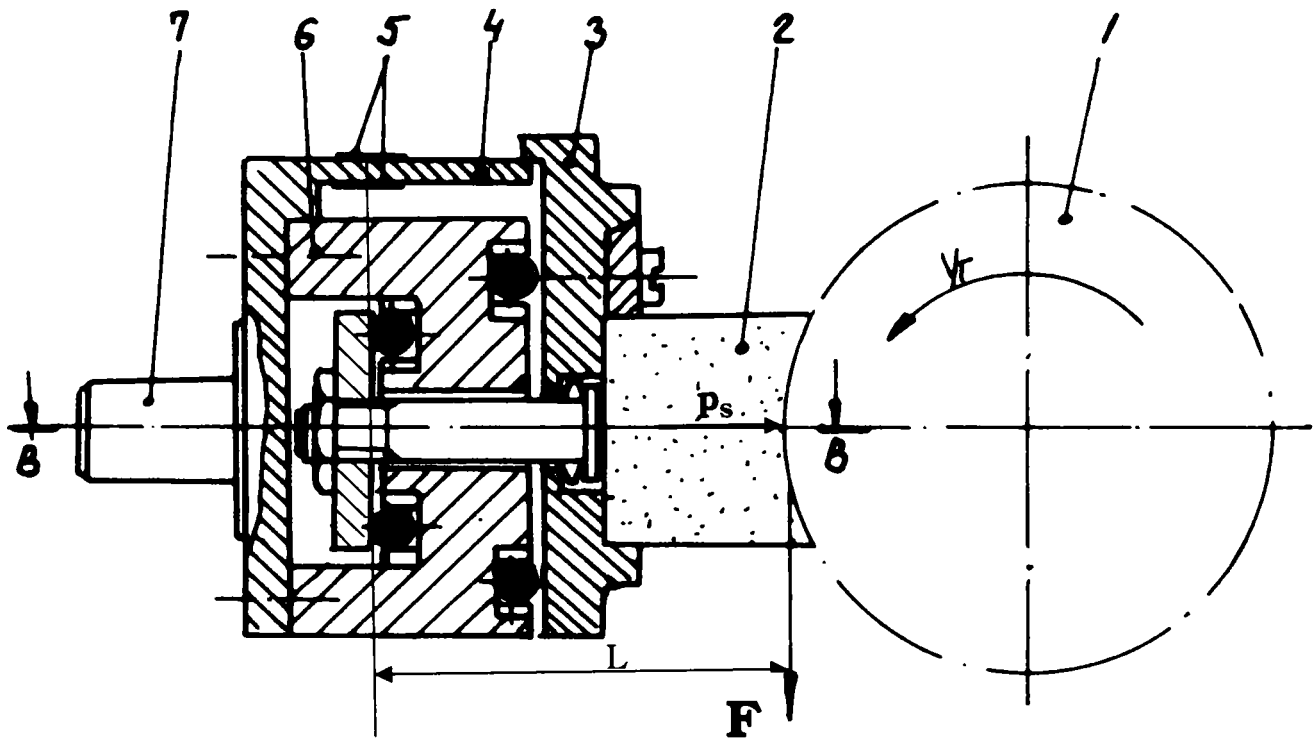
Întrucât presiunea P<sub>H</sub> are valoarea maximă de 2,5 N/mm<sup>2</sup>, lucrându-se cu o bară abrazivă având A = 1,2 mm<sup>2</sup>, poate rezulta pentru p<sub>s</sub> o valoare maximă de 0,75 N/mm<sup>2</sup>. Prin urmare, comandând supapa SDP2, se poate modifica presiunea din sistem și implicit presiunea de apăsare a barei abrazive.

Deoarece în literatură nu sunt cunoscute aparate pentru măsurarea forței de așchiere tangențiale F, în cadrul lucrării se prezintă construcția unui element traductor special, a cărui funcționare se bazează pe utilizarea unor traductoare rezistive, a cărui schemă de construcție este prezentată în figura 4.2.

Forța de așchiere F dintre piesa de prelucrat 1 și bara abrazivă 2, este transmisă la lamela elastică 4 pe care s-au lipit traductoarele rezistive 5. În timpul prelucrării, grosimea barei abrazive se reduce prin uzarea. Pentru a se evita influența variației de grosime a barei asupra valorii momentului încovoiator care solicită lama elastică, placa suport 3 a barei abrazive se sprijină pe corpul traductorului 6 prin intermediul unor role 13. În acest fel, forța de așchiere este transmisă la extremitatea lamei elastice prin suportul 3, determinând un moment încovoiator care depinde de mărimea forței de așchiere, deoarece lungimea lamei elastice este admisă constantă. Placa-suport este menținută în contact cu rolele, prin intermediul șurubului 11, a arcurilor-disc 14 și a plăcuței 9, care se sprijină pe rolele 10.



### Secțiunea A - A



### Secțiunea B - B

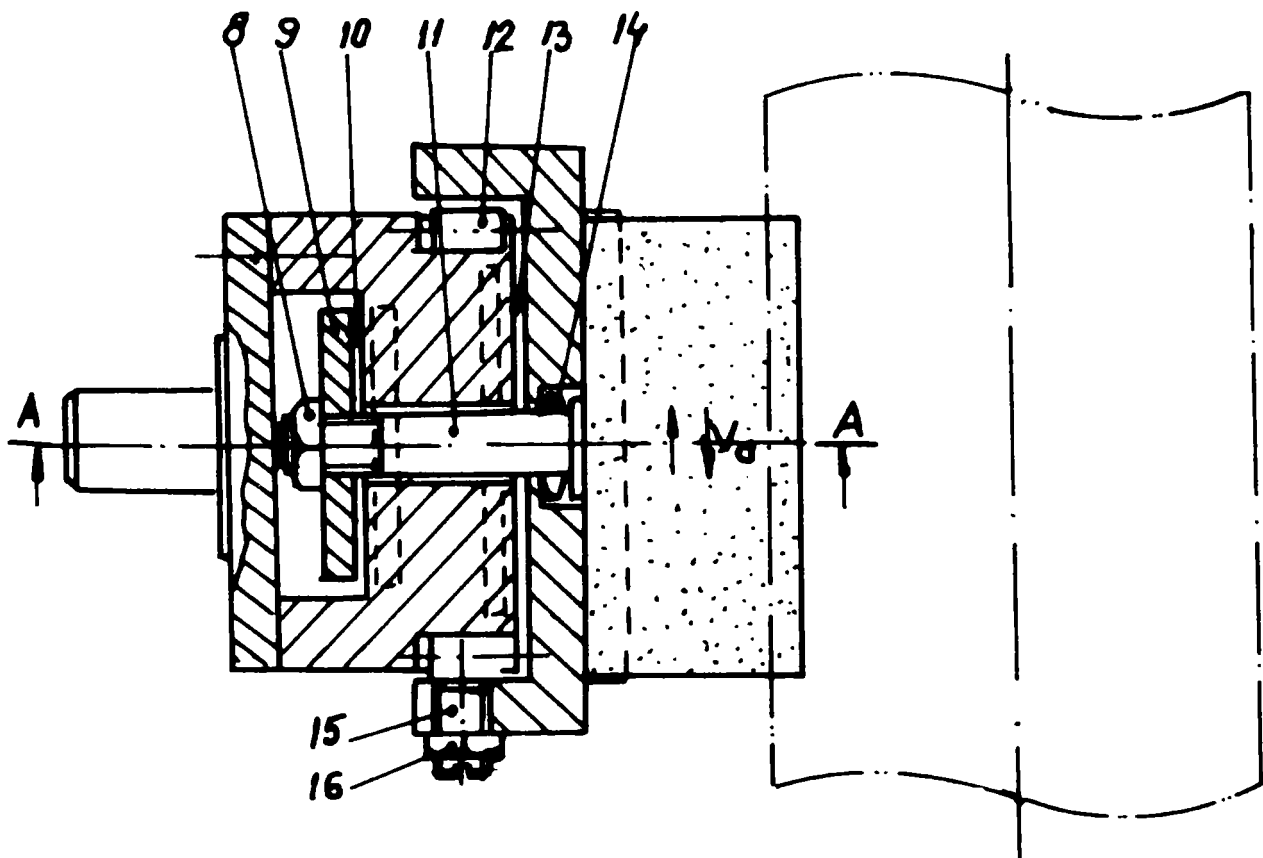


Figura 4.2 - Schema constructivă a elementului traductor pentru măsurarea forței de așchiere tangențiale

Elementul traductor se fixează în unitatea de suprafinisat cu ajutorul cepului 7, prin care se transmite și forța de apăsare a barei abrazive. Mișcarea oscilatorie este transmisă barei abrazive, prin rolele 12, jocul optim putându-se regla prin știftul filetat 15 și piulița 16.

Pentru a se asigura o deformație corespunzătoare s-a confecționat din oțel aliat 33MoCN15 îmbunătățit. La calculul elementului traductor-respectiv a lamelei elastice s-a urmărit obținerea unei sensibilități ridicate, pentru care valoarea alungirii specifice a fibrei extreme a materialului să îndeplinească condiția [5]:  $\varepsilon \geq 100\mu D$ , unde  $1\mu D = 10^{-6}$  mm/mm.

Considerând forța de așchiere maximă  $F$  de 5 N și distanța  $L$  de la marginea lamei elastice până la traductoarele rezistive de 20 mm, lama elastică și deci traductoarele rezistive vor fi solicitate de momentul încovoietor:

$$M_i = F \cdot L = 5 \cdot 20 = 100 \text{ N}\cdot\text{mm} \quad (4.2)$$

se obține:

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W_z} = \frac{100}{0,08} = 1250 \text{ N/mm}^2, \quad (4.3)$$

unde

$$W_z = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{3 \cdot 4^2}{6} = 0,08 \text{ mm}^3 \quad (4.4)$$

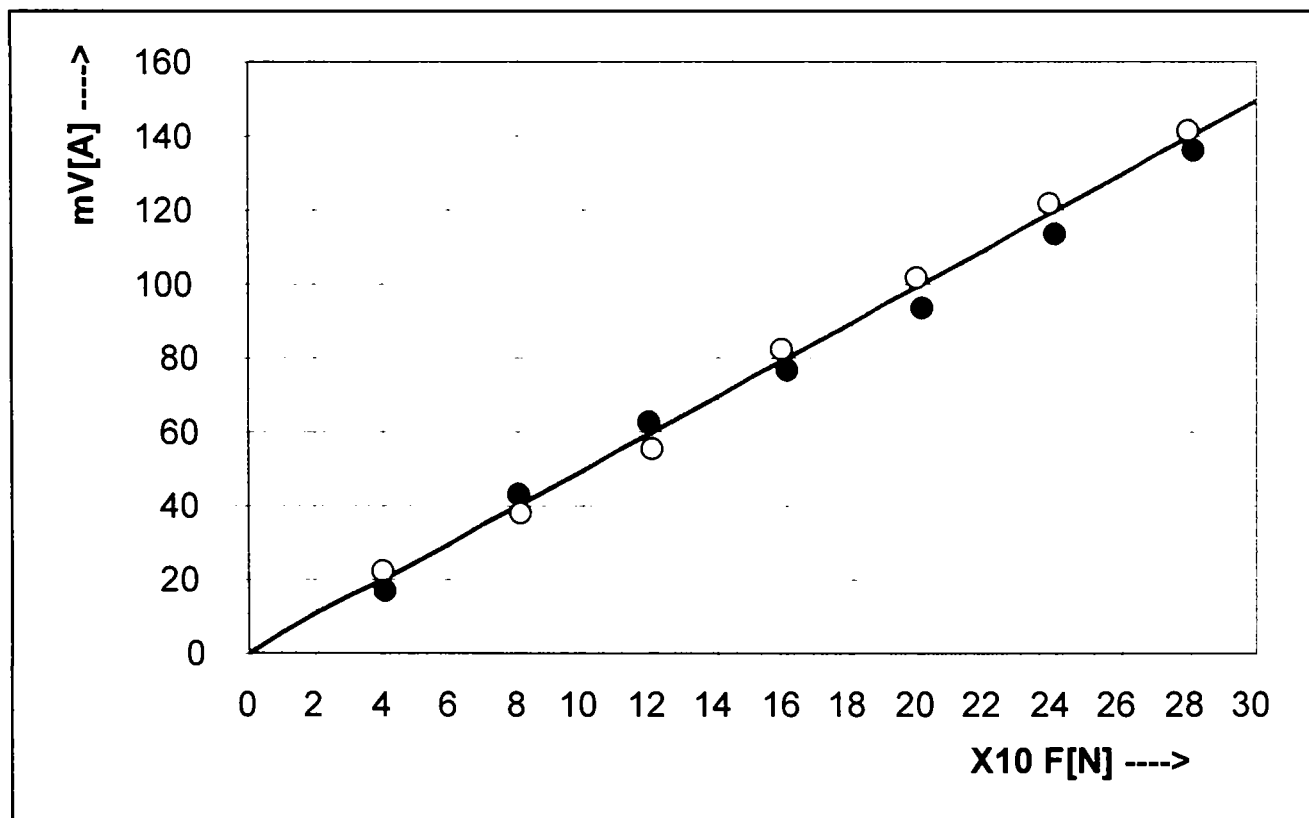
Cu aceste valori, rezultă:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_i}{E} = \frac{1250}{2,1} = 595 \mu D \quad (4.5)$$

Deci elementul traductor construit dispune de sensibilitate necesară. Pentru mărirea acestei sensibilități s-a aplicat montajul în semipunte al celor două rezistențe active, semnalul de ieșire din punte având astfel valoare dublă. Totodată, prin legarea în semipunte se asigură și compensarea variației de temperatură [6].

La etalonarea traductorului s-au utilizat greutăți de valoare cunoscută, care au solicitat lama elastică la încovoiere, iar cu valorile citite la aparatul indicator al punții tensometrice, s-a trasat curba de etalonare a elementului traductor redată în figura 4.3.

După cum se observă în figură, caracteristica elementului este liniară și nu prezintă histerezis, permițând măsurători cu precizie ridicată.

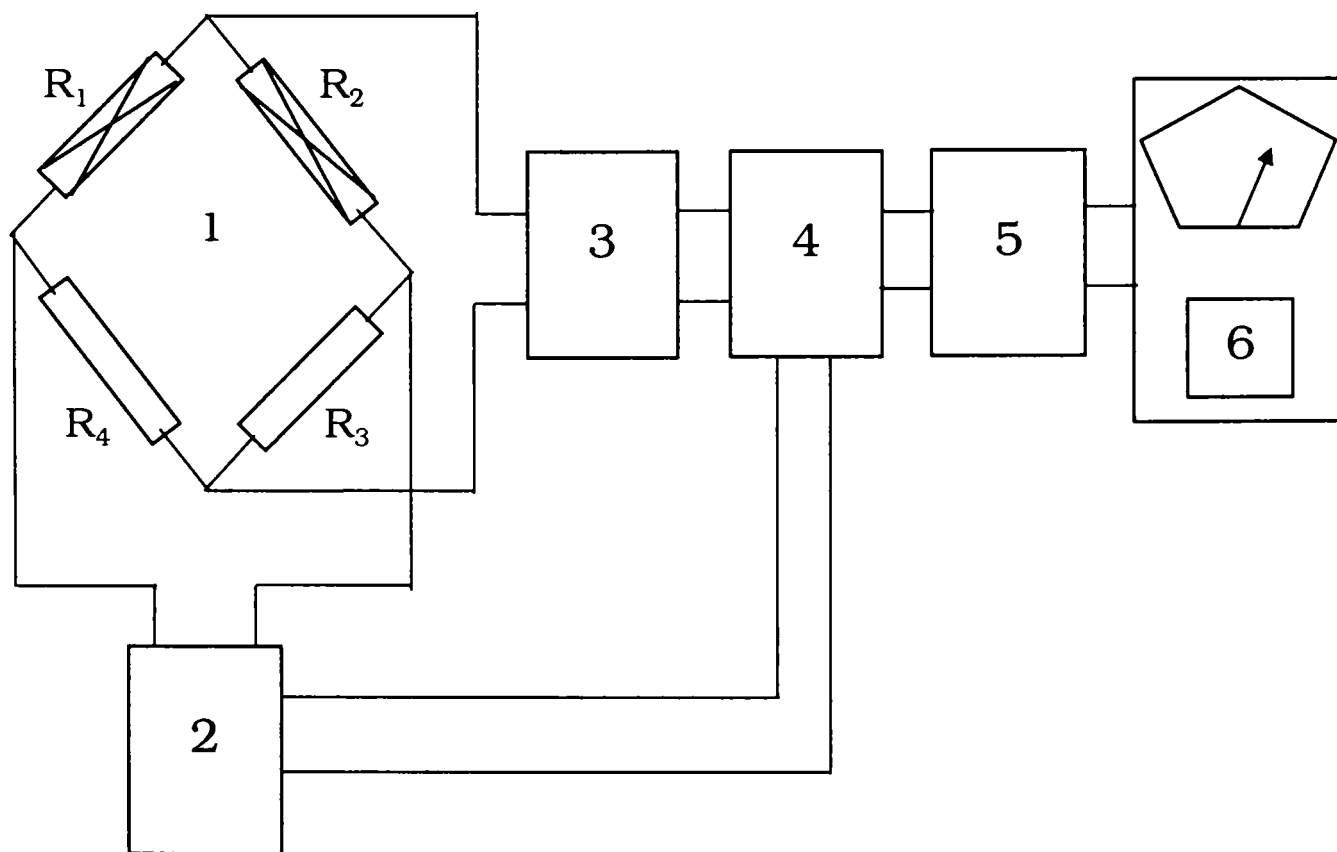


**Figura 4.3** – Curba de etalonare a elementului traductor

Pentru efectuarea experimentărilor, s-a lucrat cu o unitate de suprafinisat tip ESZA 500, având următoarele caracteristici: frecvența mișcării oscilatorii  $\gamma = 200 \dots 2000$  c.d./min reglabilă continuu, obținută cu ajutorul unei acționări hidrostatice; amplitudinea mișcării oscilatorii  $A = 2 \dots 8$  mm cu posibilitate de reglare; presiunea lichidului de apăsare a barei abrazive până la  $2,5 \text{ N/mm}^2$ ; puterea motorului de acționare  $P = 1 \text{ kW}$ .

Unitatea de suprafinisat a fost instalată pe un strung normal tip SN320, care asigură mișcarea de rotație a piesei și avansul longitudinal al barei abrazive.

În figura 4.4 este redată schema de măsurare cu utilizarea tensometrului electronic tip PHILIPS - PR 9307, care este compusă din următoarele elemente: circuitul de intrare 1, în care  $R_1$  și  $R_2$  sunt rezistențe active, generatorul de oscilații 2, amplificatorul 3, detectorul sensibil la faza 4, amplificatorul 5 și instrumentul de măsurare 6.



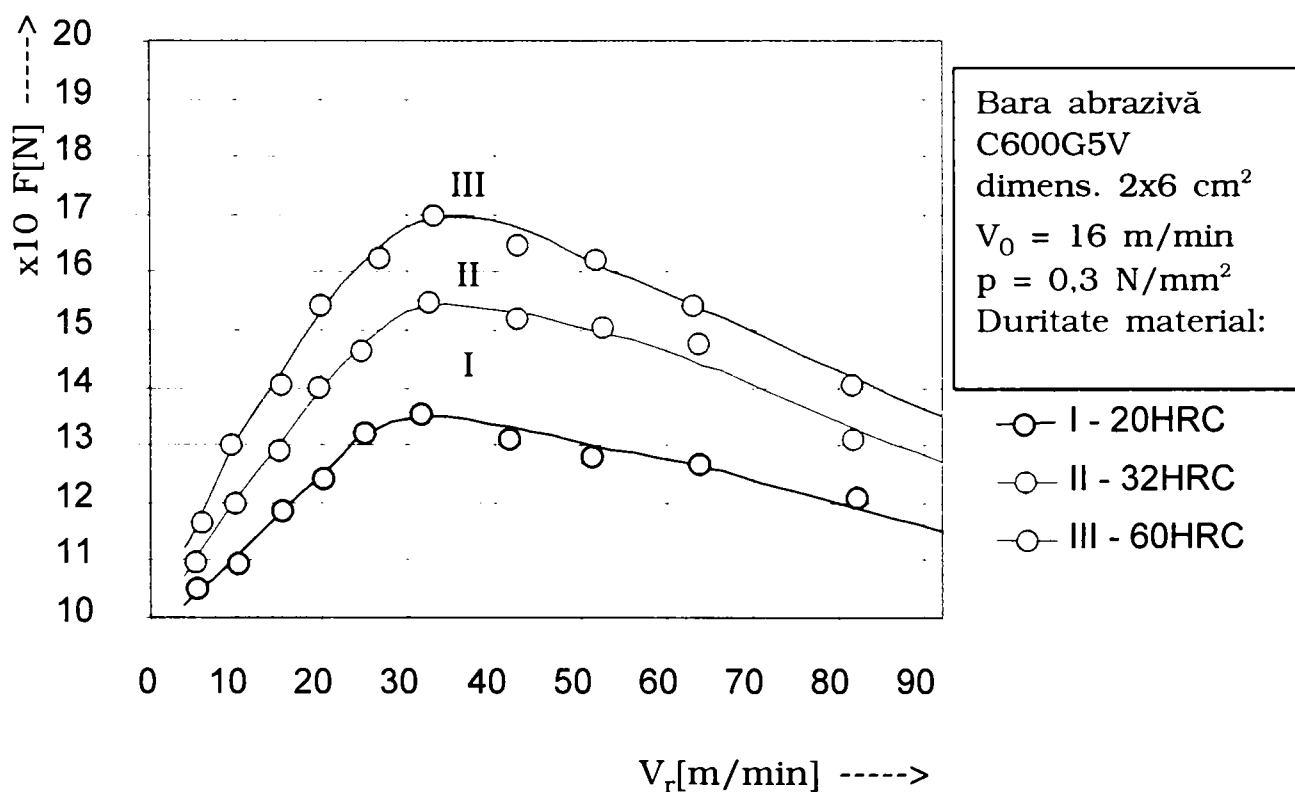
**Figura 4.4** - Schema de măsurare a tensometrului electronic.

Cu instalația prezentă s-au efectuat un număr foarte mare de determinări, în condiții de perfectă stabilitate a valorilor.

## 4.2. Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre forța de așchiere și parametrii regimului de lucru la suprafinisarea suprafețelor cilindrice exterioare

### 4.2.1. Dependența dintre forța de așchiere și viteza mișcării de rotație a piesei de prelucrat

Pentru a determina dependența dintre forța de așchiere și viteza mișcării de rotație a piesei, s-au făcut experimentări utilizând piese de durități diferite (20HRC, 32HRC și 60HRC) și dimensiuni  $\varnothing 50 \times 250 \text{ mm}$ , rezultatele fiind prezentate în graficul din figura 4.5.



**Figura 4.5** – Dependența dintre forța de așchiere și viteza mișcării de rotație a piesei

Parametrii regimului de lucru au avut următoarele valori: V<sub>0</sub> = 16 m/min, p = 0,3 N/mm<sup>2</sup>, iar rugozitatea medie inițială, obținută prin

rectificare, a avut valoarea  $R_a = 0,7 \mu\text{m}$ . S-a utilizat o bară abrazivă calitatea C600G5V.

Din grafic rezultă că prin mărirea vitezei de rotație a piesei, se produce creșterea forței de așchiere, până la anumite valori ale vitezei, care depind de duritatea stratului superficial al piesei prelucrate.

Crescând în continuare viteza de rotație, se constată o scădere a valorii forței de așchiere. Această scădere se explică prin intensificarea procesului de tocire a muchiilor așchietoare ale granulelor abrazive, și parțial, prin efectul penei formată de către lichidul de spălare-răcire, care face ca vârful granulelor abrazive ieșite din liant să pătrundă mai puțin adânc în stratul superficial. Ca urmare, se reduce intensitatea microașchierii și implicit forța de așchiere dintre bara abrazivă și suprafața prelucrată.

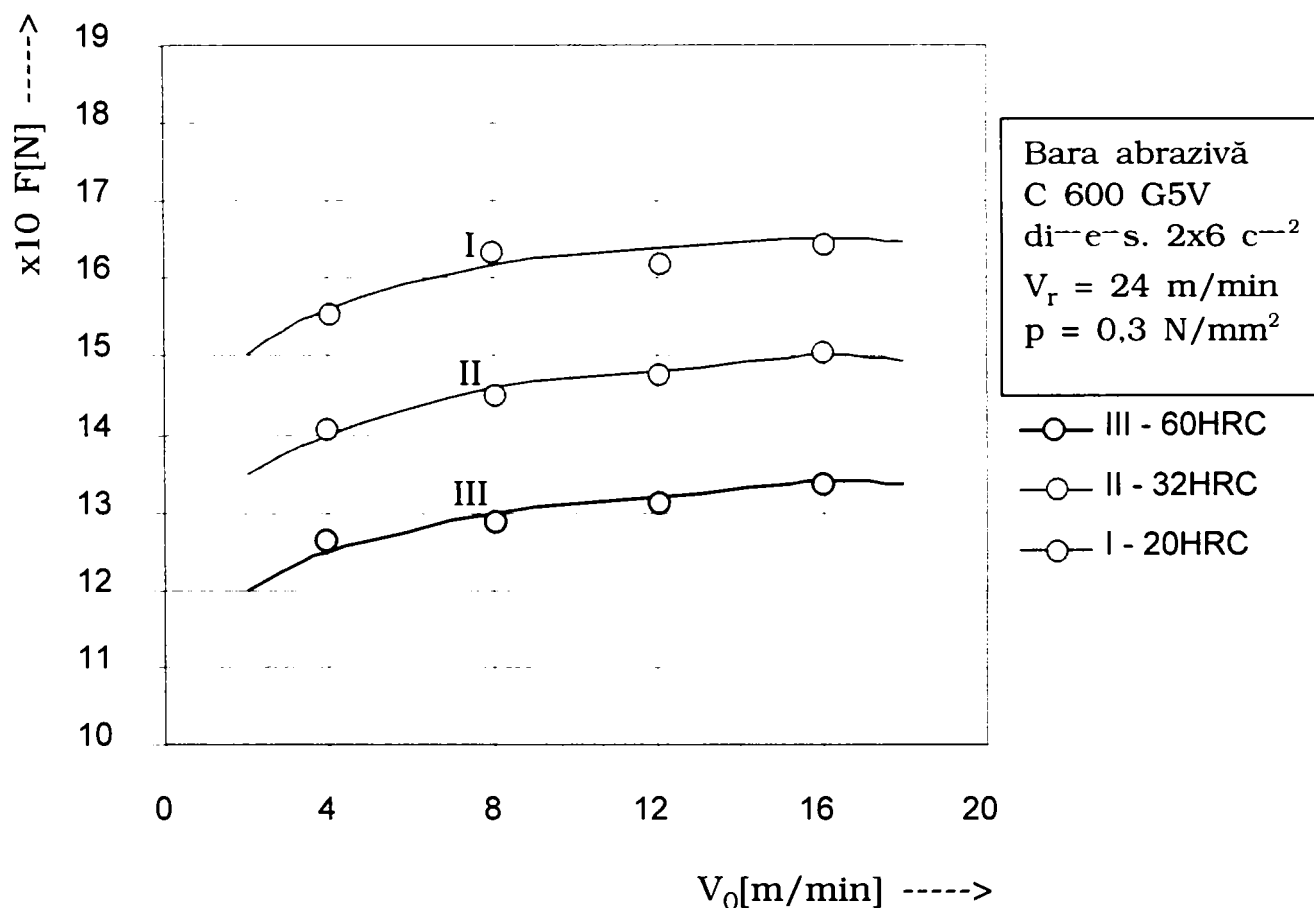
#### **4.2.2. Dependența dintre forța de așchiere și viteza mișcării oscilatorii a barei abrazive**

În scopul determinării dependenței forței de așchiere de viteza mișcării oscilatorii s-au efectuat experimentări ale căror rezultate sunt redată în graficul din figura 4.6. S-au suprafinisat piese cu dimensiunile  $\phi 50 \times 250$  mm și de durități diferite (20HRC – curba I, 32HRC – curba II și 60HRC – curba III).

Piesele au fost prelucrate în prealabil prin rectificare ( $R_a = 0,7 \mu\text{m}$ ), iar suprafinisarea a fost realizată cu o bară abrazivă C600G5V și un regim de lucru:  $V_r = 24$  m/min și  $p = 0,3$  N/mm<sup>2</sup>. Viteza mișcării oscilatorii a fost modificată în intervalul  $V_o = 4 \dots 16$  m/min, prin

reglarea frecvenței  $\gamma = 500 \dots 2000$  c.d./min, în condițiile unei amplitudini constantă,  $A = 4$  mm.

După cum rezultă din grafic, modificarea vitezei mișcării oscilatorii are o influență redusă asupra valorii forței de așchiere, deci a intensității procesului de microașchiere, ceea ce confirmă datele din literatura de specialitate [5, 25].



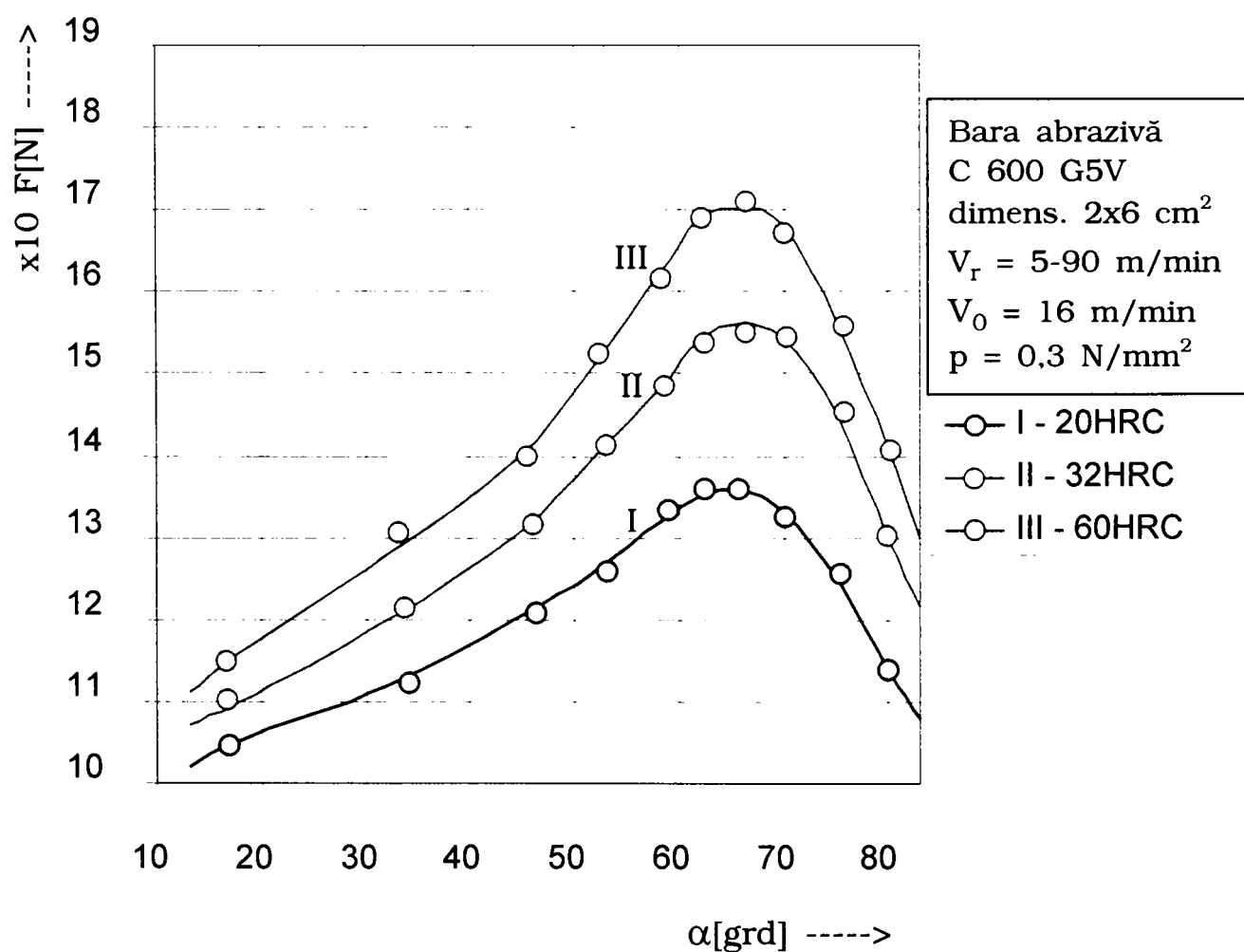
**Figura 4.6** - Dependența dintre forța de așchiere și viteza mișcării oscilatorii a barei abrazive

#### 4.2.3. Dependența dintre forța de așchiere și unghiul de atac

Utilizându-se piese de probă de aceleași dimensiuni și cu aceleași caracteristici și folosind același tip de bară abrazivă, s-a determinat dependența dintre forța de așchiere și unghiul de atac  $\alpha$ , format între

direcția vectorului viteză de așchiere și axa de rotație a piesei. În figura 4.7 este redat graficul acestei dependențe. Cele trei curbe corespund durității specifice a unor piese din oțel, respectiv la piesele normalizate – curba I, îmbunătățite – curba II, cementate și călite – curba III.

Valoarea unghiului de atac  $\alpha$  s-a schimbat prin modificarea vitezei de rotație a piesei între 5 – 100 m/min, menținându-se constantă viteza mișcării oscilatorii la valoarea de 16 m/min. Presiunea nominală a barei abrazive a avut valoarea  $p = 0,3 \text{ N/mm}^2$ .



**Figura 4.7** – Dependența dintre forța de așchiere și unghiul de atac



Din grafic rezultă că prin creșterea unghiului de atac până la valori de  $60 \dots 65^\circ$ , forța de așchiere crește continuu, indicând o creștere a intensității procesului de microașchiere. Depășindu-se aceste valori ale unghiului de atac, se constată o scădere accentuată a forței de așchiere.

Această dependență dintre forța de așchiere și unghiul de atac confirmă datele din literatura [2, 5] potrivit cărora, peste valoarea de  $65^\circ$  a unghiului de atac, intensitatea procesului scade.

#### **4.2.4. Dependența dintre forța de așchiere și presiunea nominală de apăsare a barei abrazive**

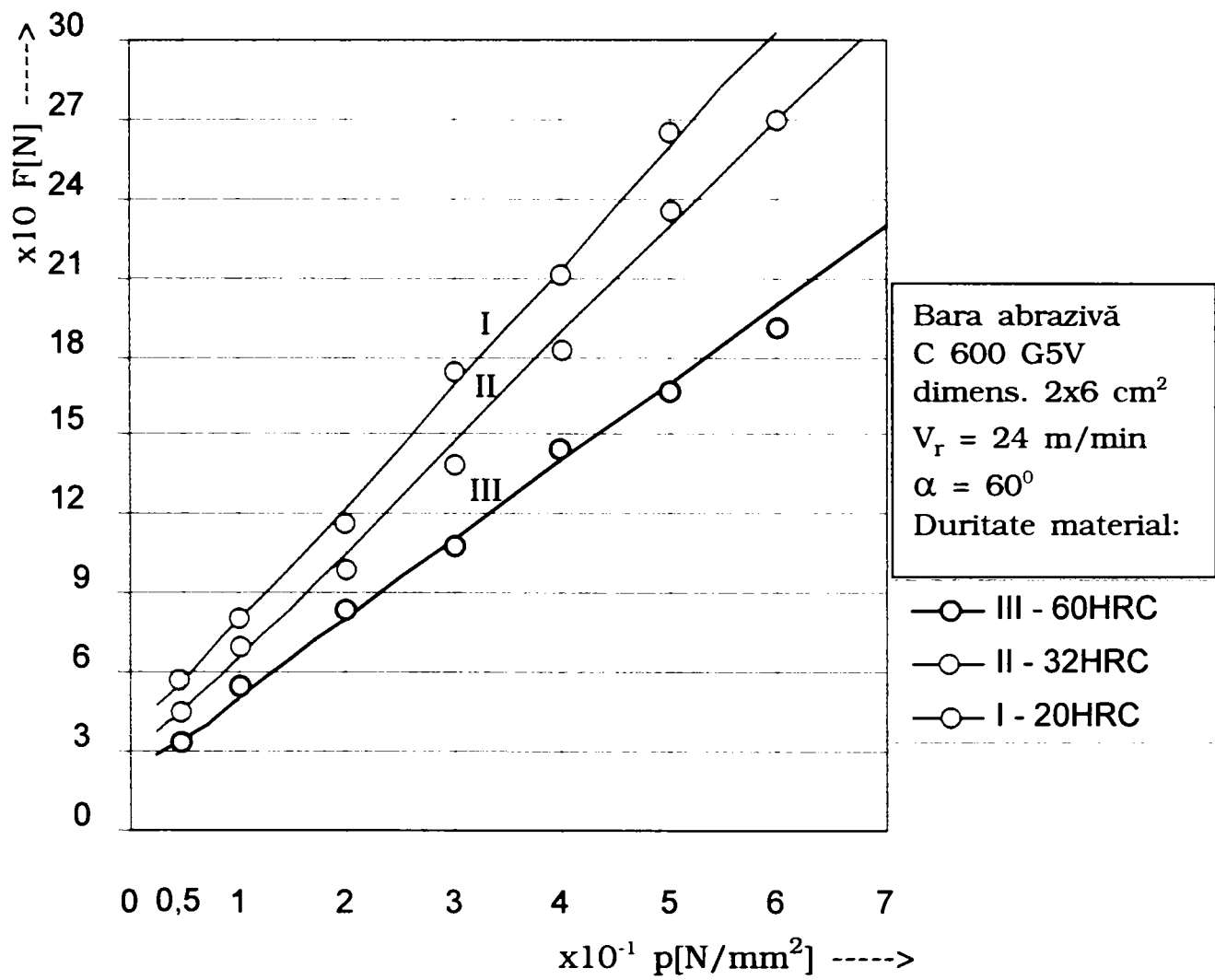
Pentru determinarea dependenței dintre forța de așchiere și presiunea nominală de apăsare a barei abrazive pe suprafața prelucrată, s-au utilizat piese din materiale cu durități diferite, având aceeași rugozitate medie inițială ( $R_a = 0,7 \mu\text{m}$ ).

S-au ridicat trei curbe, care corespund unor durități medii ale pieselor prelucrate de: 20HRC pentru curba I, 32HRC pentru curba II și 60HRC pentru curba III, realizate din oțel normalizat, îmbunătățit și respectiv cementat și călit.

S-au utilizat bare abrazive de calitate C 600 G5V, având dimensiunile inițiale:  $20 \times 20 \times 60 \text{ mm}$ . Parametrii regimului de lucru au avut următoarele valori:  $V_0 = 16 \text{ m/min}$ ,  $V_r = 24 \text{ m/min}$ . Presiunea de apăsare a barei abrazive pe suprafața piesei de prelucrat, a avut valori cuprinse între  $0,1 \dots 0,6 \text{ N/mm}^2$ .

Graficul dependenței dintre forța de așchiere și presiunea nominală de apăsare a barei abrazive, este redat în figura 4.8.

Din grafic rezultă că odată cu mărirea presiunii crește și forța de așchiere, dependența fiind practic liniară.



**Figura 4.8** – Dependența dintre forța de așchiere (F) și presiunea nominală de apăsare a barei abrazive (p)

### **4.3. Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre forța de aşchiere și indicatorii tehnico-economici ai operației de suprafinisare**

Odată stabilite dependențele analizate mai sus, între forța de aşchiere pe de o parte, mărimile de intrare și perturbatoare pe de altă parte, s-a urmărit în continuare să se determine *în ce măsură forța de aşchiere poate caracteriza principalii indicatori tehnico-economici ai procesului de suprafinisare: capacitatea de producție și consumul de bare abrazive.*

Scula abrazivă trebuie să dispună de proprietatea de a-și reface continuu capacitatea aşchietoare, prin autoaşchiere. Aceasta se produce atunci când forțele de aşchiere care acționează asupra granulelor abrazive depășesc rezistența mecanică a liantului și constituie o proprietate foarte importantă a barei abrazive, deoarece determină principalii indicatori tehnico-economici menționați mai sus.

Barele abrazive cu porozitate ridicată și cantitate mică de liant, adică de duritate mai mică, la aceleași sarcini pe granulele abrazive se autoaşchieră mai intens decât cele cu conținut mai mare de liant, adică mai dure. Rezultă că barele abrazive de duritate mai mică își refac mai ușor capacitatea aşchietoare și asigură o productivitate mai mare a procesului de prelucrare, dar în același timp, uzarea lor este mai intensă, iar dacă duritatea barei este prea mică, granulele abrazive sunt desprinse din liant înainte de a li se utiliza întreaga capacitate aşchietoare și evident se produce o pierdere.

Prin alegerea durității barei abrazive, în funcție de duritatea stratului superficial al piesei de prelucrat, în cursul procesului de suprafinisare, vor avea loc variații importante ale intensității autoaşchierii, ca urmare a acțiunii mărimilor perturbatoare ale procesului. Acestea determină modificarea acțiunii abrazive a barei,

influențând intensitatea procesului de microașchiere și uzarea barei abrazive.

Pe baza asimilării procesului de microașchiere cu procesul de uzare abrazivă, s-a urmărit să se determine experimental, măsura în care forța de așchiere tangențială dintre bara abrazivă și piesa prelucrată, relevă influența autoascuțirii barei asupra capacității de producție a procesului și asupra consumului de bare abrazive.

#### **4.3.1. Modificarea rugozității suprafeței în timpul prelucrării**

Pentru determinarea dependenței dintre forța de așchiere și timpul de prelucrare, care caracterizează intensitatea acțiunii abrazive a barei și deci capacitatea de producție, s-au efectuat experimentări utilizând piese din oțel îmbunătățit, având duritatea medie a stratului superficial de 32HRC, și bare abrazive, calitatea C 600 G5V cu dimensiunile inițiale: 20x20x60 mm.

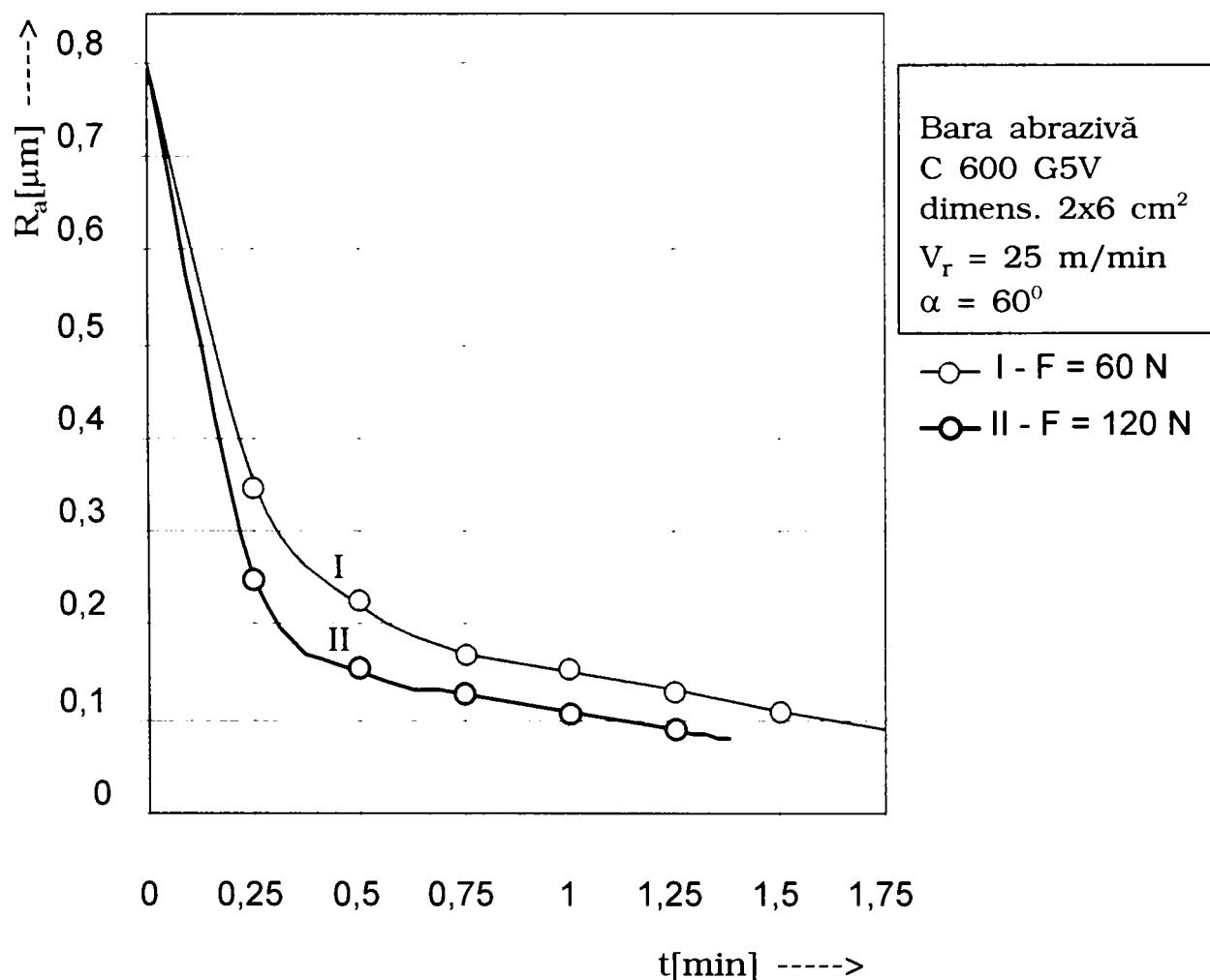


**Figura 4.9** - Rugozimetru HOMMEL-TESTER tip T

Parametrii regimului de lucru au avut valorile:  $V_r = 24$  m/min,  $V_0 = 16$  m/min, iar presiunea de apăsare a barei abrazive a fost

modificată manual, pentru a menține forța de așchiere la anumite valori considerate constante.

Începând suprafinisarea de la o rugozitate inițială  $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ , obținută prin rectificare, s-a urmărit evoluția rugozității după fiecare 15 secunde de prelucrare. Prin măsurarea acesteia cu ajutorul unui rugozimetru HOMMEL-TESTER tip T. (figura 4.9)



**Figura 4.10** – Graficul variației rugozității în timp, pentru valori diferite ale forței de așchiere

În graficul din figura 4.10 este prezentată dependența dintre rugozitatea suprafeței prelucrate și timpul de prelucrare. Curba I a fost trasată pe baza valorilor obținute la o forță de așchiere menținută constantă la valoarea de 60 N, iar curba II, pentru o forță de așchiere de 120 N.

Se observă din grafic că prin mărirea forței de aşchiere, se obține o reducere apreciabilă a timpului de prelucrare necesar atingerii unei valori a rugozității finale  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ .

Rezultă deci că *forța de aşchiere caracterizează în mod corespunzător intensitatea acțiunii abrazive a barei asupra piesei prelucrate și deci capacitatea de producție a procesului de suprafinisare.*

#### **4.3.2. Evoluția uzării corpului abraziv**

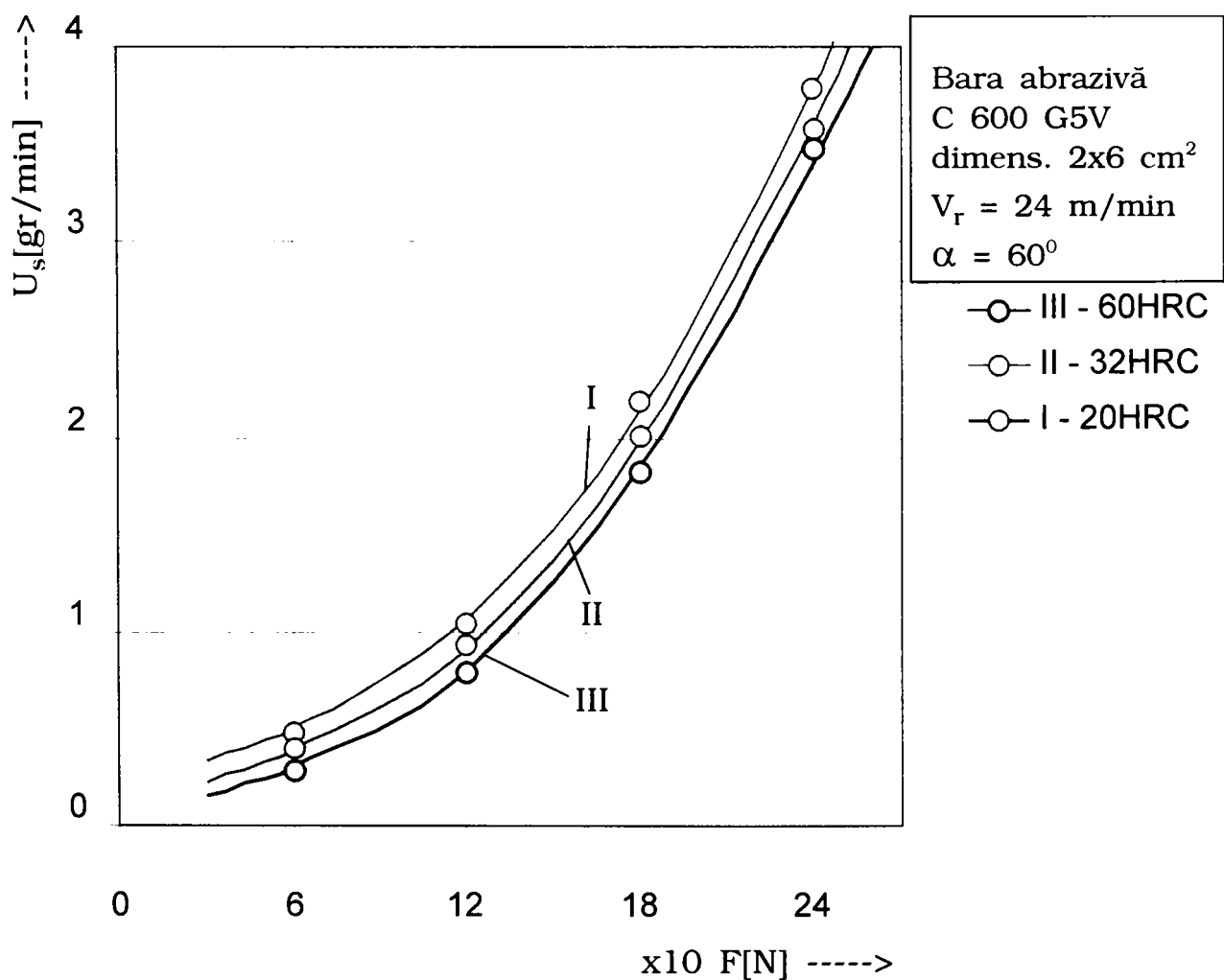
La experimentările prin care s-a determinat în ce măsură forța de aşchiere caracterizează uzarea sculei abrazive și deci consumul de material abraziv, s-a utilizat același tip de bară abrazivă C 600 G5V. Încercările au fost realizate în condițiile:  $V_r = 24 \text{ m/min}$ ,  $V_0 = 16 \text{ m/min}$ , iar presiunea variabilă, pentru a menține forța de aşchiere constantă la valorile: 60, 120, 180 și 240N.

În figura 4.11 este redat graficul dependenței dintre uzarea barei abrazive și forța de aşchiere. Cele trei curbe au fost trasate pe baza valorilor uzurilor determinate la suprafinisarea unor piese care au fost specificate în legendă.

Din grafic se poate observa că uzura barei abrazive crește odată cu creșterea forței de aşchiere. La oricare valoare a forței de aşchiere, *uzura are valori apropiate pentru cele trei valori ale durității pieselor prelucrate.* Se mai poate observa că la început, are loc o creștere mai lentă a uzării, iar *la creșterea forței de aşchiere peste o anumită valoare (cca. 100 N) procesul de uzare se accelerează.* Prin urmare, pentru bara abrazivă folosită, dacă se depășește această valoare a forței de aşchiere, autoascuțirea se produce intens, granulele abrazive fiind desprinse din liant înainte de a li se utiliza întreaga capacitate

așchietoare. Se deduce că *pentru fiecare calitate a barelor abrazive, există o anumită valoare critică a forței de așchiere de la care începe autoascuțirea intensă, o uzare exagerată și deci utilizarea nerațională a barelor abrazive.*

Dacă se va lucra cu valori ale forțelor de așchiere ce nu depășesc valoarea critică, va rezulta un consum rațional de bare abrazive și un timp de prelucrare redus. Se confirmă deci că forța de așchiere este o mărime care poate caracteriza corespunzător și al doilea indicator tehnico-economic al procesului de suprafinisare: consumul de bare abrazive.



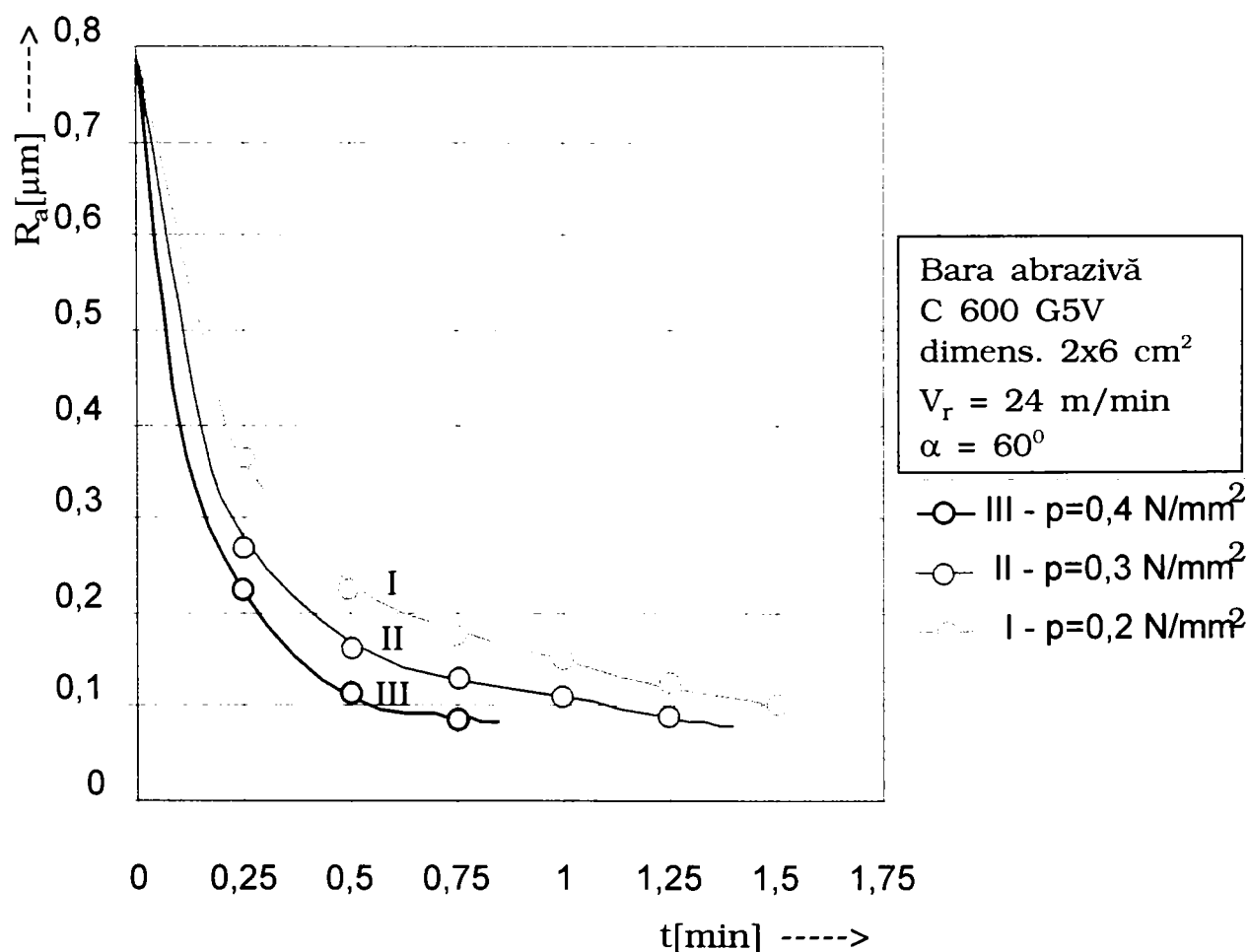
**Figura 4.11** – Dependența dintre uzura barei abrazive și forța de așchiere

Având stabilită ca mărime de execuție, presiunea de apăsare a barei abrazive, s-a urmărit să se determine modul în care aceasta poate

influența indicatorii tehnico-economici ai procesului de suprafinisare, pentru compensarea influenței mărimilor perturbatoare.

### 4.3.3. Legătura dintre rugozitatea suprafeței și presiunea de lucru

În figura 4.12 sunt prezentate rezultatele experimentării prin care s-a stabilit *dependența dintre rugozitatea suprafeței prelucrate și timpul de prelucrare, pentru diferite valori ale presiunii nominale de apăsare a barei abrazive.*



**Figura 4.12** – Graficul variației rugozității în timp, pentru valori diferite ale presiunii nominale de apăsare a barei abrazive



S-a utilizat același tip de bară abrazivă C 600 G5V, piesele prelucrate având duritatea medie de 32 HRC, și vitezele de avans circular  $V_r = 24$  m/min și de așchiere  $V_0 = 16$  m/min. Cele trei curbe din grafic corespund unor valori ale presiunilor de:  $0,2$  N/mm<sup>2</sup> – curba I,  $0,3$  N/mm<sup>2</sup> – curba II și  $0,4$  N/mm<sup>2</sup> – curba III.

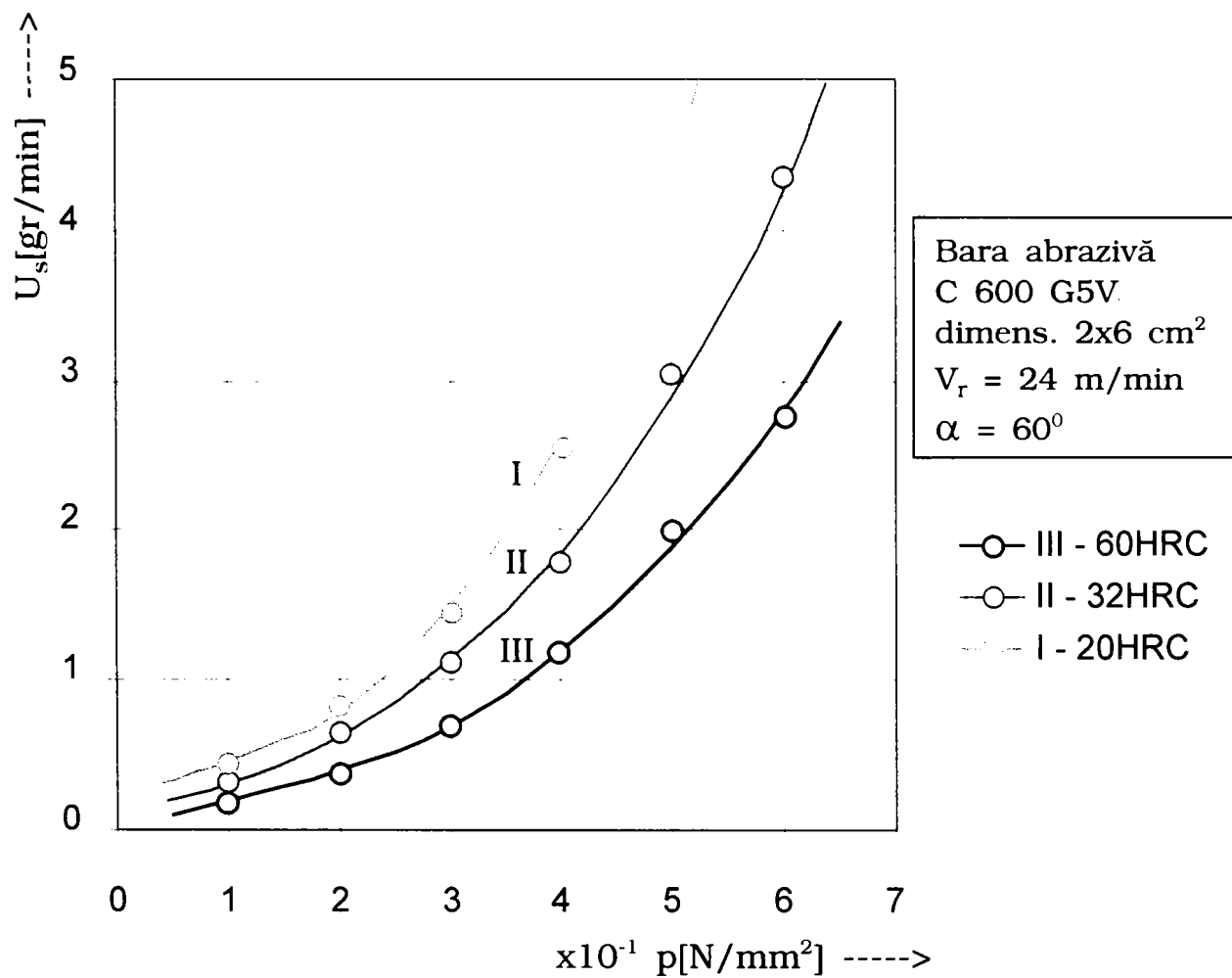
Se observă din grafic că *rugozitatea se reduce pe măsura creșterii timpului de prelucrare, iar prin ridicarea presiunii de lucru, timpul în care se ajunge la rugozitatea specifică suprafețelor suprafinisate ( $R_a=0,05\mu\text{m}$ ) se reduce apreciabil.* Aceasta se explică prin creșterea intensității acțiunii abrazive a barei cu creșterea presiunii. *Dar, simultan, are loc și creșterea uzurii barei abrazive, ca urmare a intensificării procesului de autoascuțire.*

#### **4.3.4. Dependența stării de uzare a corpului abraziv în funcție de presiunea de lucru**

Pentru a releva dependența dintre uzarea barei abrazive și presiunea acesteia pe suprafața de prelucrat, s-au efectuat experimentări ale căror rezultate sunt prezentate în figura 4.13. Barele abrazive au fost de tipul C600G5V, care au fost utilizate în condițiile:  $V_r=24$  m/min și  $V_0=16$  m/min. Cele trei curbe corespund următoarelor valori ale durității medii ale pieselor suprafinisate: 20 HRC – curba I, 32 HRC – curba II și 60 HRC – curba III.

Din grafic se poate observa că odată cu creșterea presiunii de lucru se mărește și uzura barei abrazive. Creșterea uzurii este redusă până la anumite valori ale presiunii care, dacă sunt depășite, se constată o creștere accentuată a uzurii, corespunzând începutului autoascuțirii intense a barei abrazive. *Pentru o anumită valoare a presiunii, uzura este mai intensă la prelucrarea pieselor cu duritate mai*

*mică*, la care granulele abrazive pătrund pe adâncimi mai mari în stratul superficial, determinând *intensificarea autoasculirii*.



**Figura 4.13** – Dependența dintre uzura barei abrazive și presiunea nominală de apăsare

*Se poate concluziona că indicatorii tehnico-economici ai procesului de suprafinisare (capacitatea de producție și uzura barei abrazive) pot fi influențați prin modificarea presiunii de lucru, care are ca efect compensarea influenței produse prin acțiunea mărimilor perturbatoare.*

## Concluzii

◆ Din analiza mărimilor de ieșire ale procesului de suprafinisare, rezultă că *forța de așchiere tangențială* dintre bara abrazivă și piesa de prelucrat, caracterizează cel mai bine esența fenomenelor ce au loc între suprafața activă a barei abrazive și stratul superficial al pieselor prelucrate. *Prin măsurarea continuă a forței de așchiere se obțin informații privind variația intensității procesului de microașchiere, care este influențat de perturbațiile din proces: dispersia durității stratului superficial, dispersia rugozității inițiale a suprafeței, variația durității barei abrazive și variația presiunii reale dintre bara abrazivă și piesă în timpul prelucrării.*

◆ Din analiza dependenței forței de așchiere de parametrii regimului de lucru, rezultă că *presiunea de apăsare a barei abrazive este parametrul cel mai indicat pentru a fi utilizat ca mărime de execuție pentru suprafinisare.* Între forța de așchiere și presiunea nominală de apăsare există o dependență practic liniară. Deci, prin modificarea presiunii nominale de apăsare a barei abrazive, se pot compensa tendințele de variație a intensității microașchierii și se poate menține constantă valoarea forței de așchiere.

◆ Principala caracteristică a procesului de suprafinisare o reprezintă *autoascuțirea barei abrazive*, proces care *determină principalii indicatori tehnico-economici ai procesului: capacitatea de producție și consumul de bare abrazive.* S-a stabilit experimental că forța de așchiere dintre bara abrazivă și piesa de prelucrat este o mărime care caracterizează corespunzător indicatorii tehnico-economici ai procesului. *Pentru menținerea acestora la anumite valori, este necesar să se compenseze mărimile perturbatoare prin modificarea corespunzătoare a presiunii nominale de apăsare a barei abrazive.*

#### 4.4. Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre forța de așchiere și rugozitatea finală

Este cunoscut că intensitatea procesului de microașchiere la suprafinisare și implicit valoarea forței de așchiere, depind de adâncimea de pătrundere a granulelor abrazive în stratul superficial al piesei prelucrate. Ca urmare, rugozitatea finală obținută prin suprafinisare depinde de intensitatea cu care s-a desfășurat în final procesul de microașchiere.

Pentru a determina dependența dintre rugozitatea suprafeței obținută prin suprafinisare și forța de așchiere dintre bara abrazivă și piesa prelucrată, s-au făcut încercări experimentale cu bare abrazive de granulații diferite. Dată fiind influența vitezei de rotație a piesei asupra intensității procesului de microașchiere și implicit asupra rugozității finale, pentru fiecare granulație a barei abrazive s-au făcut prelucrări la viteze de rotație variabile. În toate cazurile, unghiul de atac a avut valoarea  $\alpha = 60^\circ$ , valoare recomandată ca optimă în literatură [6] și confirmată de cercetările efectuate în cadrul prezentei lucrări. În scopul generalizării rezultatelor pentru o gamă largă de dimensiuni ale barelor abrazive, s-a introdus noțiunea de *forță specifică convențională*  $F_s$ , care reprezintă valoarea raportului dintre forța de așchiere (F) și suprafața activă a barei abrazive (S), adică:

$$F_s = \frac{F}{S} [\text{N/mm}^2] \quad (4.6)$$

În acest fel, valorile obținute experimental pot fi utilizate în orice caz tehnologic concret, valoarea forței F determinându-se prin multiplicarea forței  $F_s$  cu suprafața activă S a barei abrazive folosite.

S-au făcut determinări pentru patru valori ale forței  $F_s$ , și anume, de 0,5; 1; 1,5; și 2 N/mm<sup>2</sup>, prin care se acoperă domeniul de forțe de așchiere ce apar în mod obișnuit la suprafinisarea cu bare abrazive normalizate. În decursul prelucrărilor, forțele de așchiere au fost menținute constante prin modificarea automată a presiunii de apăsare.

#### **4.4.1. Dependența dintre rugozitatea suprafeței suprafinisate și forța specifică convențională pentru diferite granulații ale barei abrazive**

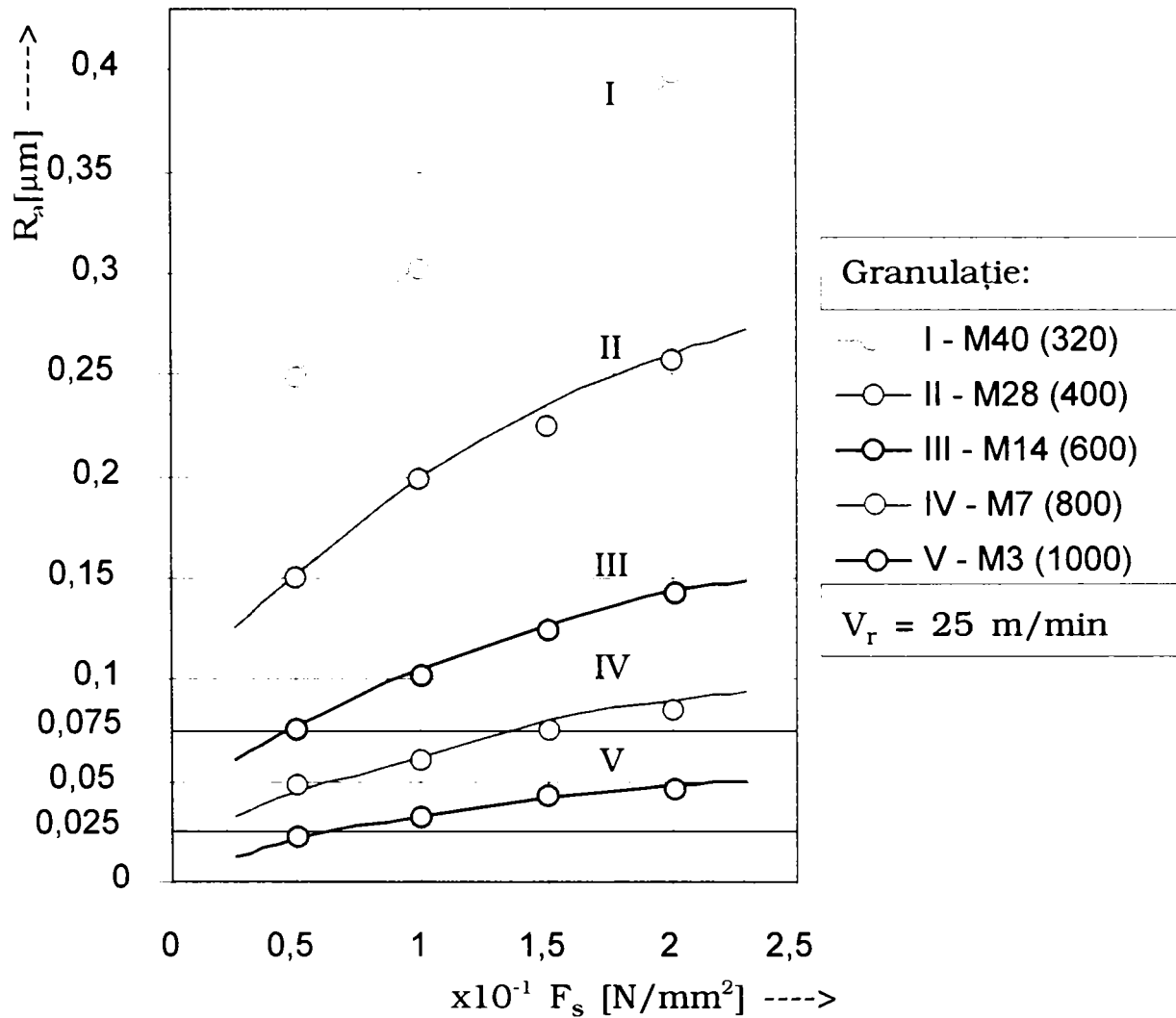
În figura 4.14 se prezintă dependența rugozității  $R_a$  de forța specifică convențională  $F_s$  pentru diferite valori ale granulației sculei folosite: M40 (320) – curba I, M28 (400) – curba II, M14 (600) – curba III, M7 (800) – curba IV și M3 (1000) – curba V. S-au utilizat bare abrazive de fabricație TYROLIT, având granule abrazive de carborund, duritate G, structură medie și liant ceramic.

Experimentările s-au făcut pe piese din oțel normalizat, îmbunătățit și cementat – călit, având durități medii de 20 HRC, 32 HRC și respectiv 60 HRC. S-a constatat că *valoarea rugozității, pentru o anumită forță specifică convențională, este practic aceeași la toate cele trei categorii de materiale.*

*Presiunile cu care s-a obținut forța specifică convențională au fost însă diferite, având valori mai mari la materialele mai dure.* Determinările s-au făcut pentru o valoare a vitezei de rotație a piesei:  $V_r = 25 \text{ m/min}$ .

Din grafic rezultă că prin creșterea forței specifice convenționale crește și rugozitatea finală, a suprafeței  $R_a$ . Intervalele valorilor rugozității ce se pot obține cu bare abrazive de anumite granulații se suprapun parțial. Astfel o rugozitate de valoare  $R_a = 0,075 \mu\text{m}$ , se poate obține fie cu o bară abrazivă de granulație M14 care lucrează cu o

forță specifică convențională  $F_s = 0,05 \text{ N/mm}^2$ , fie cu o bară abrazivă de granulație M7 și  $F_s = 0,15 \text{ N/mm}^2$ .

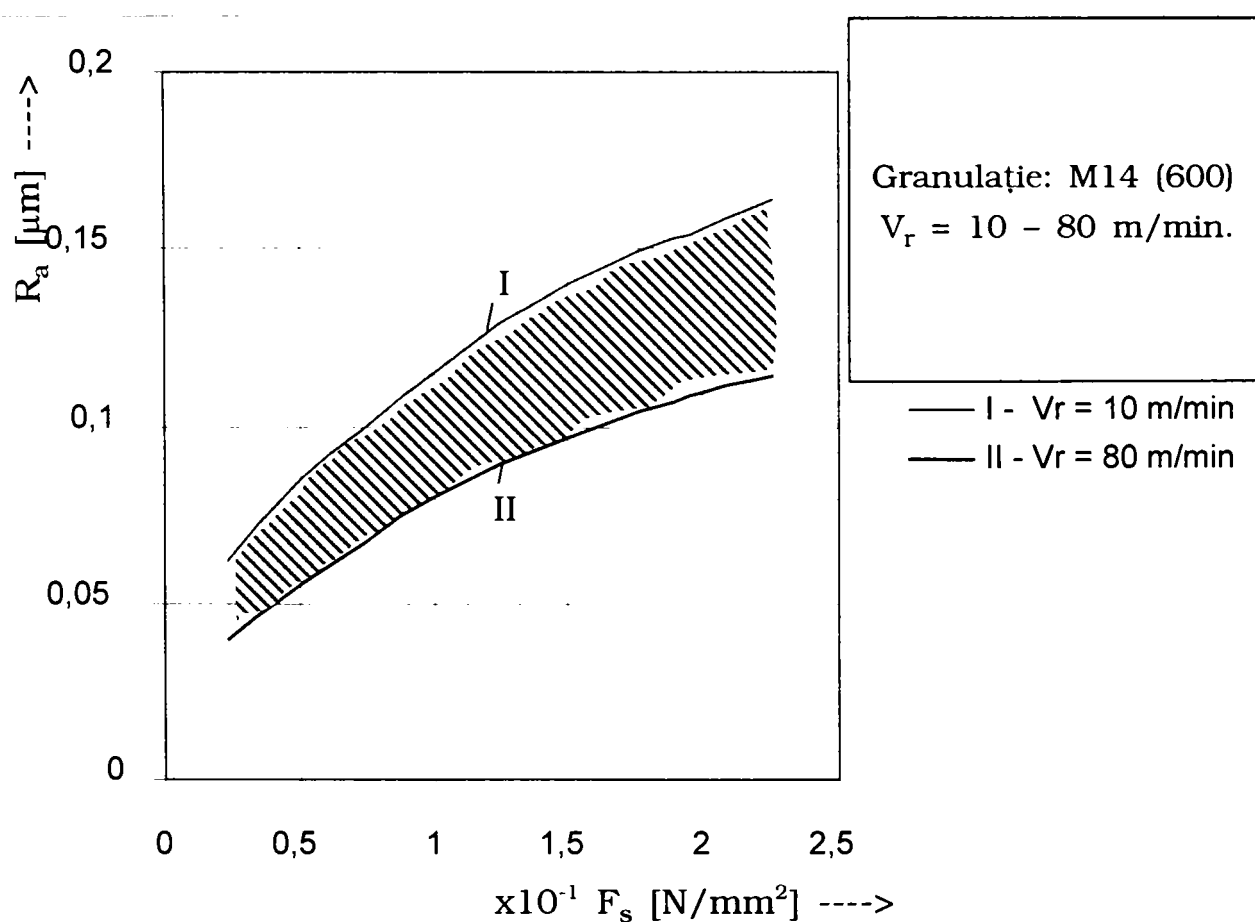


**Figura 4.14** – Dependența dintre rugozitate și forța specifică convențională

Se mai observă că la barele abrazive de granulație mai fină, intervalul de variație al rugozității cu forța specifică convențională este mai restrâns. Astfel, pentru granulația 1000, valoarea parametrului  $R_a$  variază între 0,025 și 0,05  $\mu\text{m}$ , corespunzător intervalului de reglare al forței specifice convenționale, care este cuprins între 0,05 și 0,2  $\text{N/mm}^2$ , în timp ce pentru granulația M40, parametrul  $R_a$  variază între 0,25 și 0,4  $\mu\text{m}$ .

**4.4.2. Dependența dintre rugozitatea suprafeței suprafinisate și forța specifică convențională pentru diferite valori ale vitezei de rotație**

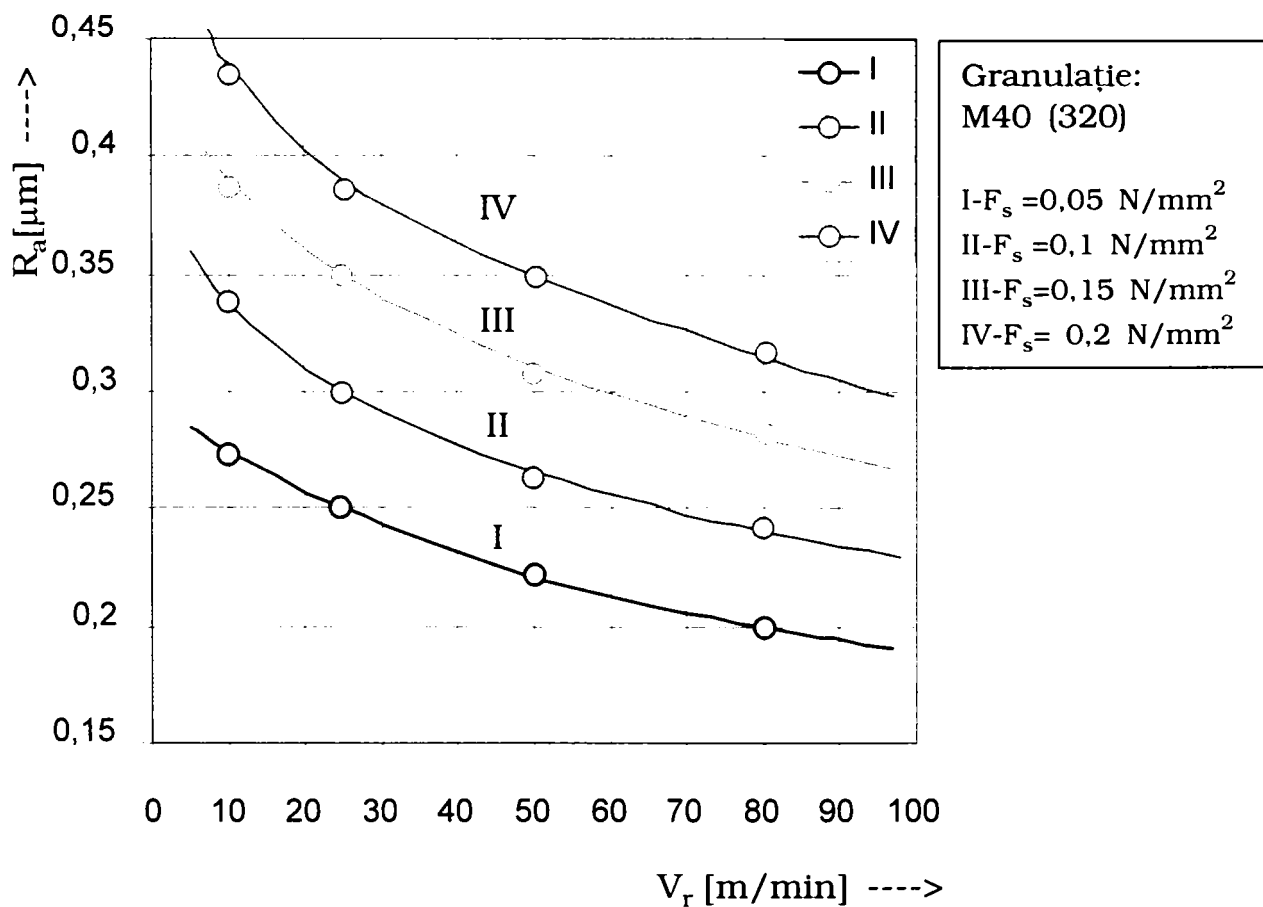
Pentru a determina influența vitezei de rotație a piesei asupra rugozității finale, s-au efectuat experimentări cu mai multe valori ale vitezei. În figura 4.15, este redată grafic dependența rugozității finale a suprafeței prelucrate de forța specifică convențională și de viteza mișcării de rotație a piesei. Se observă că dependența are forma unei zone, limitată de valoarea minimă și valoarea maximă a vitezei de rotație cu care s-au efectuat experimentările ( $V_r = 10$  m/min și respectiv  $V_r = 80$  m/min).



**Figura 4.15** – Dependența rugozității suprafeței de forța specifică convențională și viteza de rotație a piesei

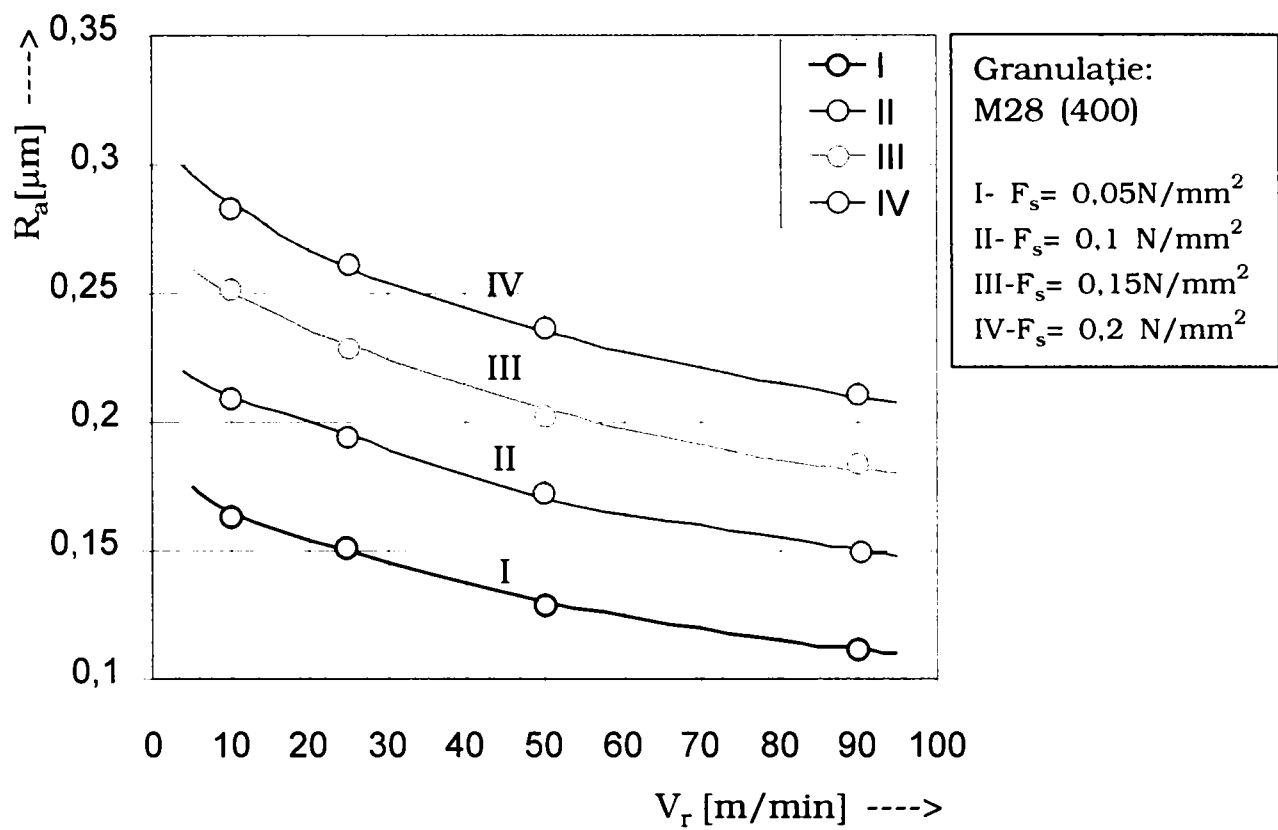
**4.4.3. Dependența dintre rugozitatea suprafeței suprafinisate și viteza de rotație, pentru granulațiile: M40, M28, M14, M7, M3**

În figurile 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 sunt redată rezultatele experimentărilor efectuate cu bare abrazive care au granulațiile: M40, M28, M14, M7 și M3. Pentru fiecare granulație s-au trasat curbele de dependență ale rugozității  $R_a$  în funcție de viteza mișcării de rotație a piesei, pentru cele patru valori ale forței specifice convenționale: 0,05; 0,1; 0,15 și 0,2  $N/mm^2$  (curbele respective au fost notate cu I, II, III și IV).

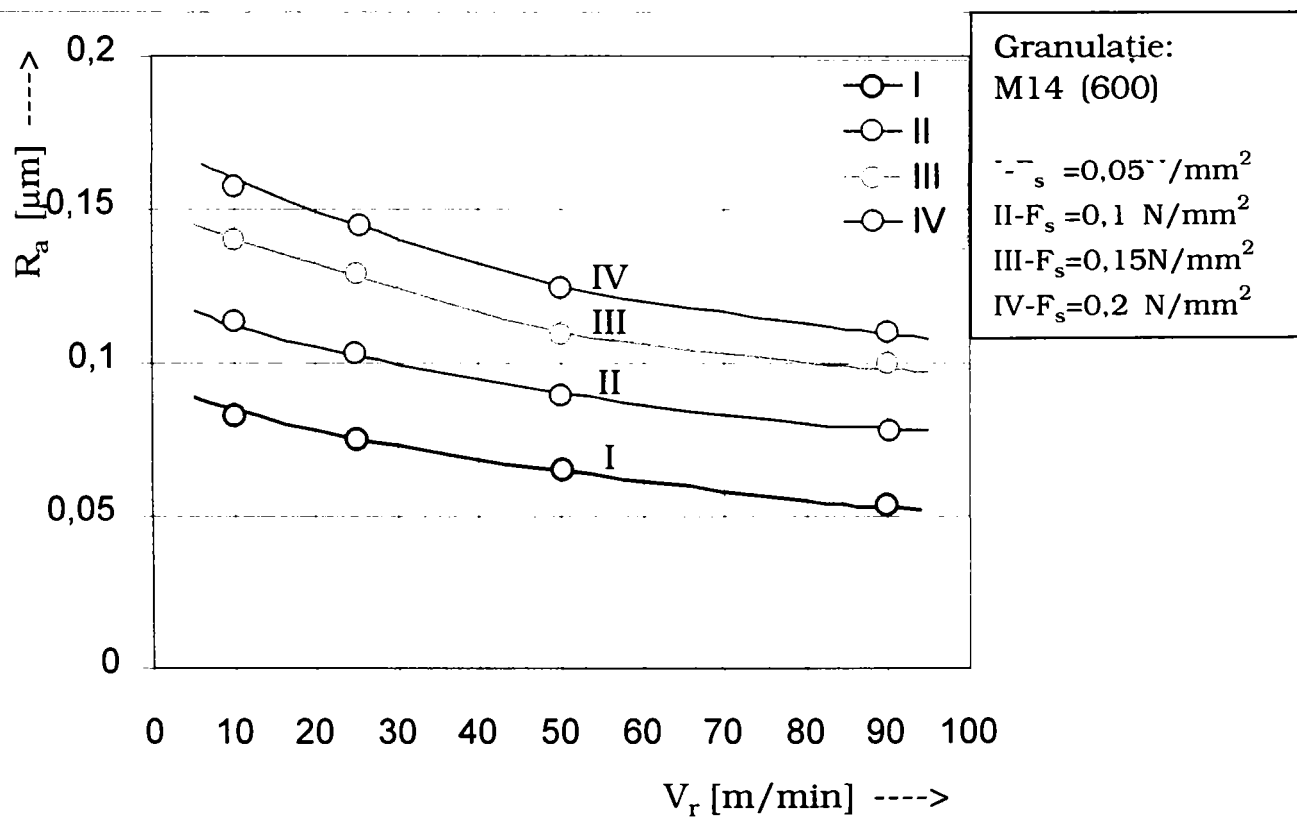


**Figura 4.16** – Dependența rugozității de viteza de rotație, pentru granulația M40 (320)

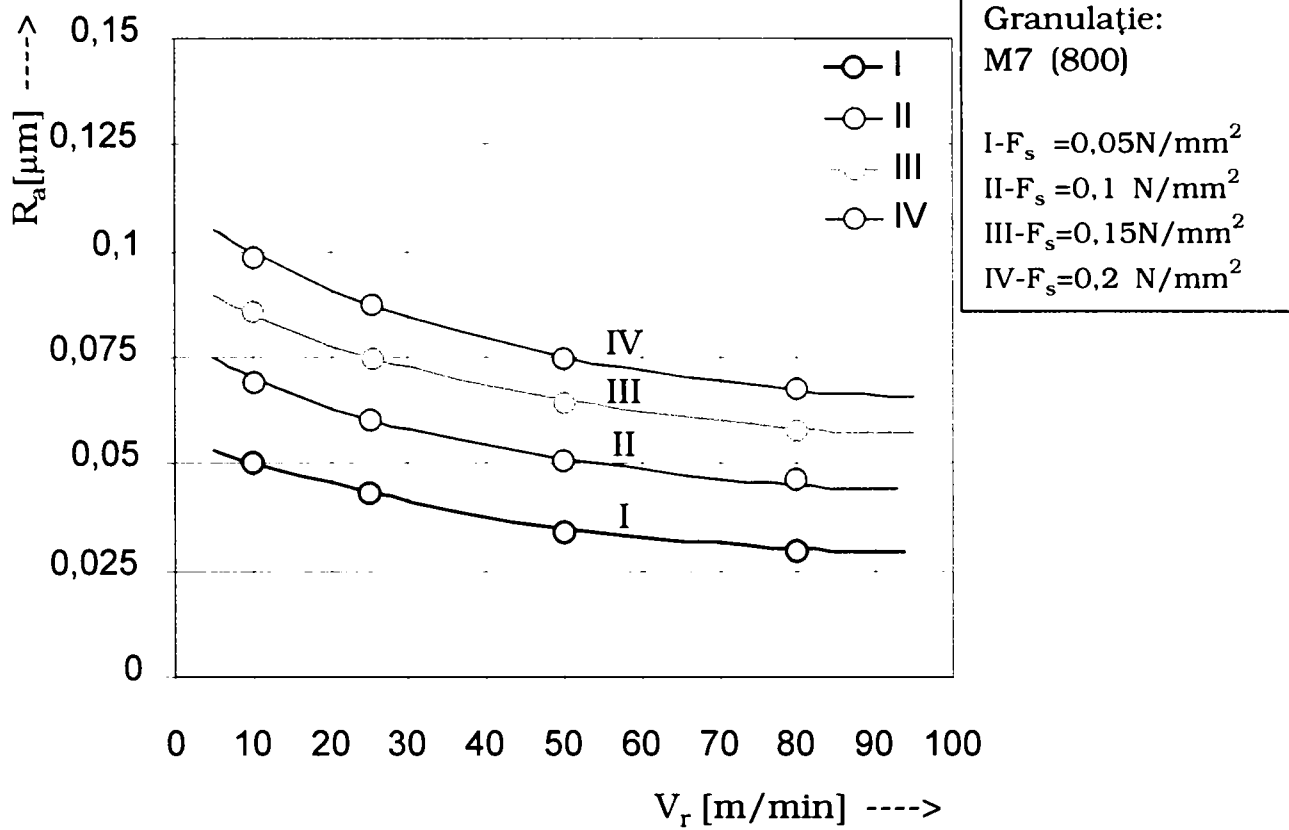




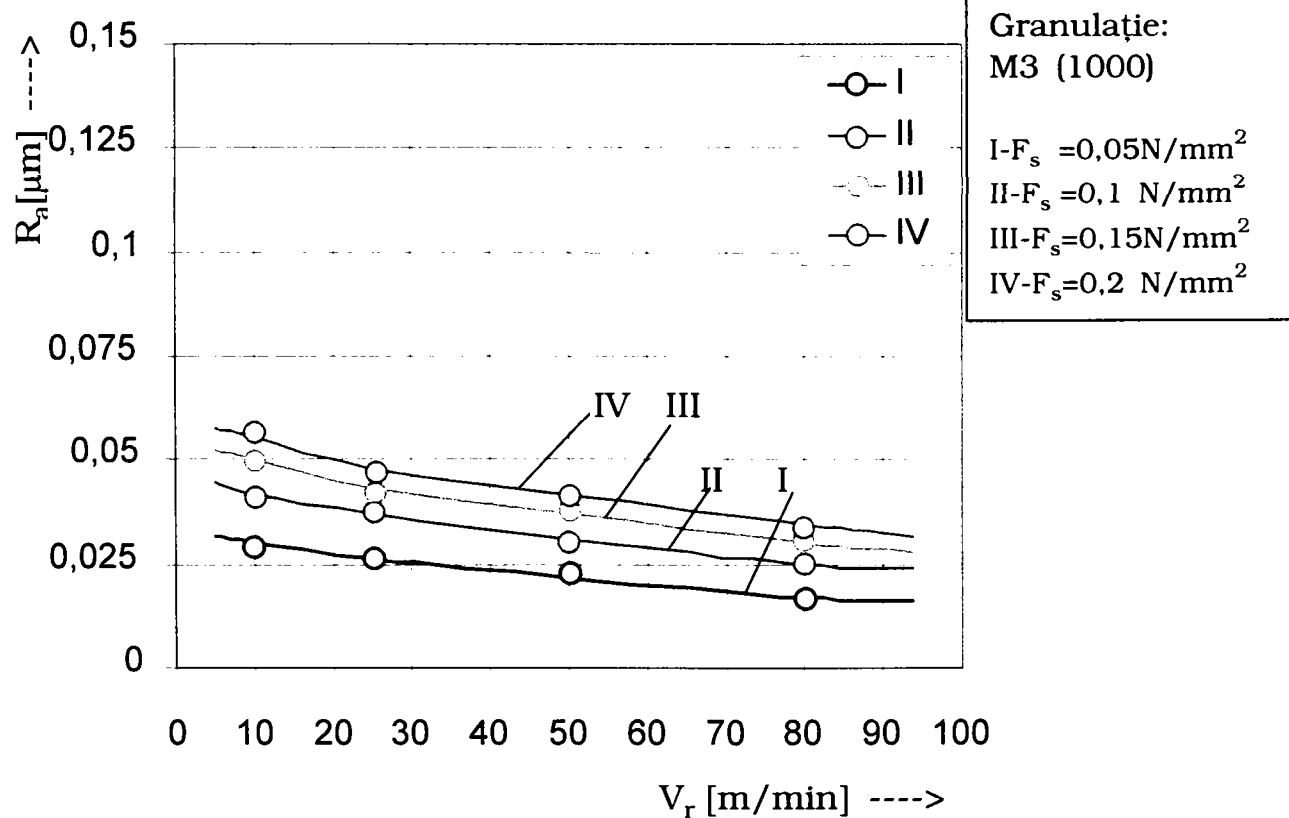
**Figura 4.17** – Dependența rugozității de viteza de rotație, pentru granulația M28 (400)



**Figura 4.18** – Dependența rugozității de viteza de rotație, pentru granulația M14 (600)



**Figura 4.19** – Dependența rugozității de viteza de rotație, pentru granulația M7 (800)



**Figura 4.20** – Dependența rugozității de viteza de rotație, pentru granulația M3 (1000)

Din grafice, se observă că *prin creșterea vitezei mișcării de rotație a piesei, se obține o reducere a rugozității suprafeței prelucrate. În cazul barelor de granulație mai mare, reducerea rugozității are valori mai importante, în timp ce la bare de granulație fină, reducerea rugozității este mai puțin importantă.*

Pentru o anumită granulație a barei abrazive, este posibil să se obțină aceeași valoare a rugozității finale pentru forțe specifice convenționale diferite, dacă sunt utilizate viteze de rotație corespunzătoare. Astfel, în cazul barelor de granulație M14, rugozitatea  $R_a = 0,10 \mu\text{m}$  se poate obține lucrându-se cu  $F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$  și  $V_r = 25 \text{ m/min}$  sau  $F_s = 0,15 \text{ N/mm}^2$  și  $V_r = 80 \text{ m/min}$ .

*Multitudinea firească a variantelor de intercondiționări între diverși parametri de intrare și de „răspunsuri” posibile ne conduce la găsirea unei **relații analitice**, operative, corecte, de aplicare în tehnologie a rezultatelor experimentale, având ca scop obținerea unei anume rugozități impuse.*

*În scopul determinării cu ușurință a valorii forței specifice convenționale care asigură anumite valori ale rugozității finale, se propune ca valoarea rezultată din graficul figurii 4.14 pentru viteza mișcării de rotație  $V_r = 25 \text{ m/min}$  (utilizată frecvent la suprafinisare), să se corecteze cu ajutorul unui **coeficient de corecție k**. Valorile lui  $k$  au fost determinate pe baza dependenței dintre rugozitatea suprafeței prelucrate și viteza mișcării de rotație, redată în figurile 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 sunt prezentate în tabelul 1.*

Tabelul 1 - Valorile coeficientului de corecție  $k$  în funcție de viteza mișcării de rotație  $V_r$  a piesei de prelucrat

$V_r$ (m/min)	10	25	40	55	70	85	100
$k$	1,1	1,0	0,93	0,87	0,82	0,78	0,75

Rugozitatea  $R_a$ , obținută prin suprafinisare, se poate calcula cu expresia:

$$R_a = (R_a)_{\text{grafic}} \cdot k \text{ } [\mu\text{m}] \quad (4.7)$$

în care:

$(R_a)_{\text{grafic}}$  – se obține din graficul figurii 4.14 în funcție de granulația barei abrazive cu care se lucrează și de forța specifică convențională.

$k$  – coeficientul de corecție în funcție de viteza mișcării de rotație a piesei de prelucrat, a cărui valoare se stabilește din tabelul 1.

#### **4.4.4. Stabilirea forței de așchiere în funcție de rugozitatea finală impusă**

Având determinate experimental variațiile concrete ale rugozității  $R_a$  în funcție de  $F_s$ , și  $V_r$ , se poate stabili suficient de exact valoarea de referință a forței  $F$ , pentru un caz de prelucrare.

Pentru determinarea acestei valori, se procedează în felul următor:

- a) Se alege granulația barei abrazive care să permită obținerea rugozității finale impuse și duritatea barei abrazive corespunzătoare durității stratului superficial al piesei de prelucrat.
- b) Se stabilește viteza mișcării de rotație astfel încât unghiul de atac să aibă valoarea  $\alpha = 60^\circ$ , pentru frecvența maximă a mișcării oscilatorii.
- c) – Cu valoarea parametrului  $R_a$  al rugozității finale de realizat, se

deduce:

$$(R_a)_{\text{grafic}} = \frac{R_a}{k} \text{ } [\mu] \quad (4.8)$$

- d) – Cu valoarea  $(R_a)_{\text{grafic}}$  se determină cu ajutorul graficului din figura 4.14, valoarea forței specifice convenționale, pentru granulația corespunzătoare barei abrazive cu care se lucrează.

e) – Se determină valoarea de referință a forței de așchiere pe baza relației:

$$F_o = F_s \cdot S \quad [\text{N}] \quad (4.9)$$

în care:

$F_s$  – valoarea forței specifice convenționale, în  $\text{N}/\text{mm}^2$

$S$  – aria suprafeței active a barei abrazive, în  $\text{mm}^2$ .

*Exemplu de calcul:*

Pentru suprafinisarea unei piese cu rugozitatea finală impusă  $R_a = 0,075 \mu\text{m}$  și duritatea stratului superficial 30 ... 33 HRC se parcurg următoarele etape:

- Se alege o bară abrazivă cu granulația M7 și duritatea H, cu dimensiunile 20 x 20 x 60 mm.
- Pentru realizarea unghiului de atac  $\alpha = 60^\circ$ , se lucrează cu o viteză a mișcării de rotație:  $V_r = 50 \text{ m}/\text{min}$ .
- Din tabelul 1, rezultă prin interpolare  $k = 0,89$ , cu care se calculează:

$$(R_a)_{\text{grafic}} = \frac{R_a}{k} = \frac{0,075}{0,089} = 0,084 \mu\text{m}$$

- Din graficul figurii 4.19, pentru granulația M7, se deduce:

$$F_s = 0,175 \text{ N}/\text{mm}^2$$

- Se calculează valoarea de referință a forței de așchiere:

$$F_o = F_s \cdot S = 0,175 \cdot 20 \cdot 60 = 21 \text{ N}$$

## **4.5. Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre forța de așchiere și timpul de bază**

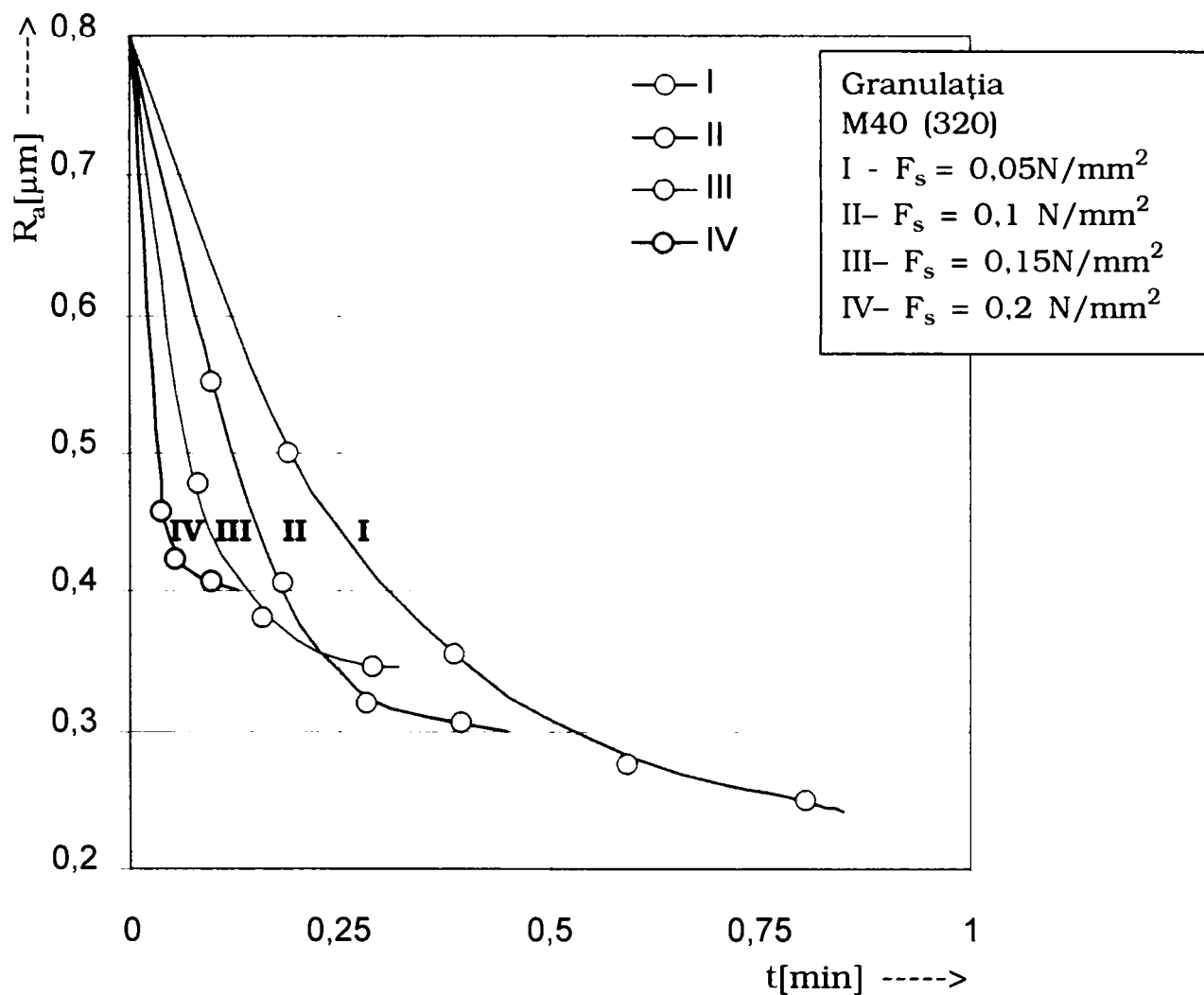
### **4.5.1. Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională pentru granulația M40 (320)**

Având ca scop determinarea timpului de prelucrare cu diferite valori ale forței specifice convenționale  $F_s$  și cu bare abrazive de granulație diferită, s-au efectuat experimentări pe diverse piese din oțel normalizat, îmbunătățit și cementat - călit, constatându-se că *la prelucrarea cu forță de așchiere constantă, timpul de prelucrare nu depinde de duritatea materialului.*

În figura 4.21 sunt redată graficele de dependență ale rugozității suprafeței prelucrate, în funcție de timpul de prelucrare, pentru diferite valori ale forței specifice convenționale, corespunzătoare granulației M40. Dacă se lucrează cu o valoare a forței specifice convenționale de  $0,05 \text{ N/mm}^2$ , se obține rugozitatea  $R_a = 0,25 \text{ }\mu\text{m}$ , cea mai fină posibil de realizat cu granulația M40, într-un timp de prelucrare de 0,75 min. Acest rezultat se referă la prelucrarea unei suprafețe care are generatoarea egală cu lungimea barei abrazive.

Cu valori superioare ale forței specifice convenționale se obțin timpi de prelucrare reduși. Astfel, rugozitatea  $R_a = 0,4 \text{ }\mu\text{m}$ , poate fi obținută în 0,3 min. dacă se lucrează cu  $F_s = 0,05 \text{ N/mm}^2$ , sau în 0,18 min., dacă se lucrează cu  $F_s = 0,15 \text{ N/mm}^2$ . Cu creșterea forței specifice convenționale crește însă și valoarea minimă a rugozității ce poate fi obținută prin prelucrare.

Dacă, pentru  $F_s = 0,05 \text{ N/mm}^2$ , rugozitatea minimă este  $R_a = 0,25 \text{ }\mu\text{m}$ , prin utilizarea forței specifice convenționale  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$  nu se pot obține rugozități mai mici decât  $R_a = 0,4 \text{ }\mu\text{m}$ .



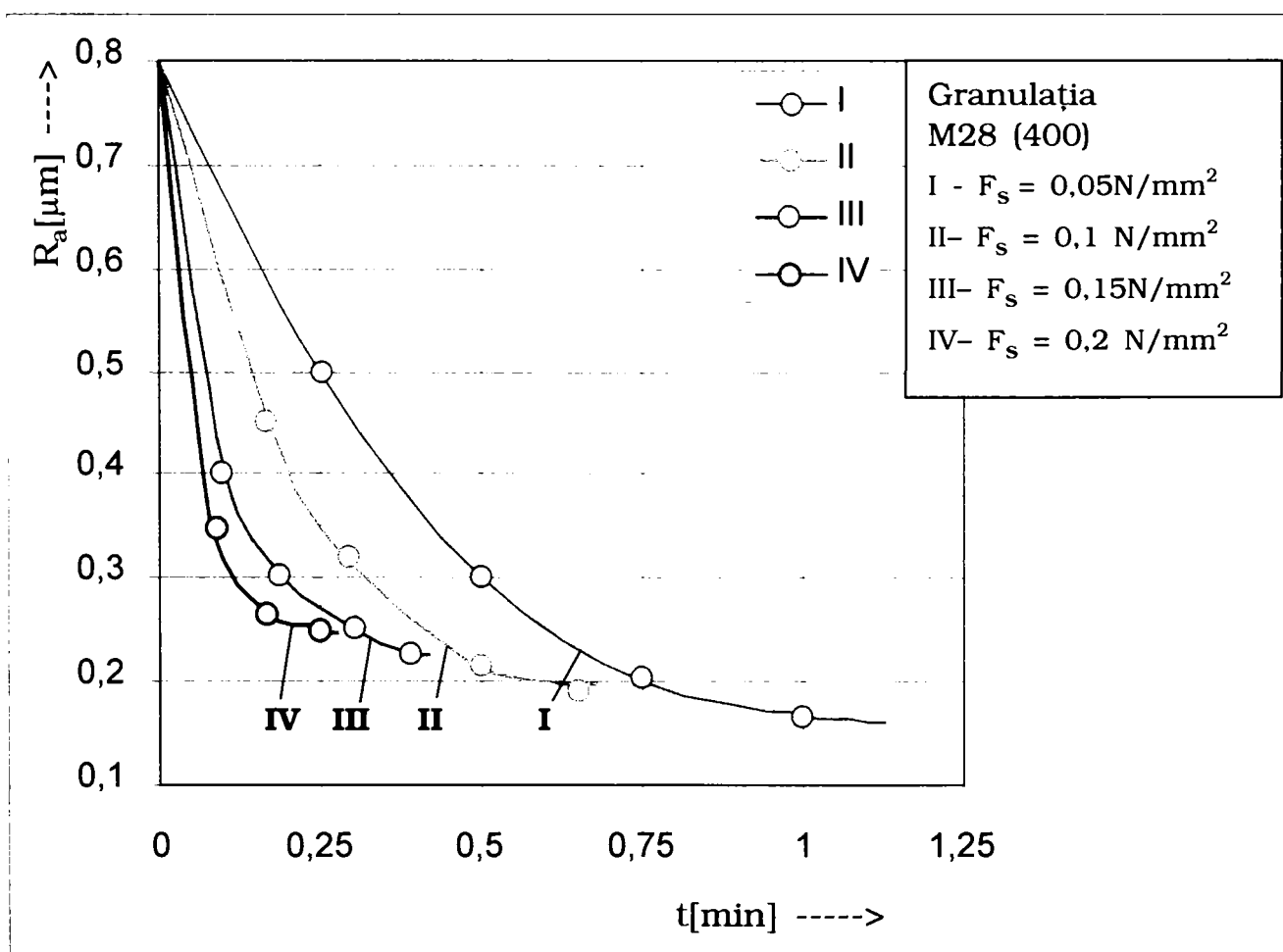
**Figura 4.21** – Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională pentru granulația M40 (320)

#### 4.5.2. Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională pentru granulația M28 (400)

În figura 4.22 sunt redată graficele de dependență ale rugozității suprafeței prelucrate, în funcție de timpul de prelucrare și forța specifică convențională, pentru granulația M28. Se observă că se pot obține rugozități finale mai mici decât cele obținute cu granulația M40, pentru aceleași valori ale forței specifice convenționale. Timpul de prelucrare este însă mai mare.

Făcând o comparație cu graficul din figura 4.21. se observă că rugozitatea  $R_a = 0,25 \mu\text{m}$  se poate obține cu o bară abrazivă de granulație M28, într-un timp de prelucrare de 0,35 min., lucrându-se cu  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ , față de 0,75 min. în cazul granulației M40, când se lucrează cu  $F_s = 0,05 \text{ N/mm}^2$ .

Rezultă că, *atunci când este posibil să se obțină rugozitatea finală prescrisă, este recomandabil să se lucreze cu forțe de așchiere de valori ridicate, care asigură timp de prelucrare redus și deci creșterea capacității de producție.*

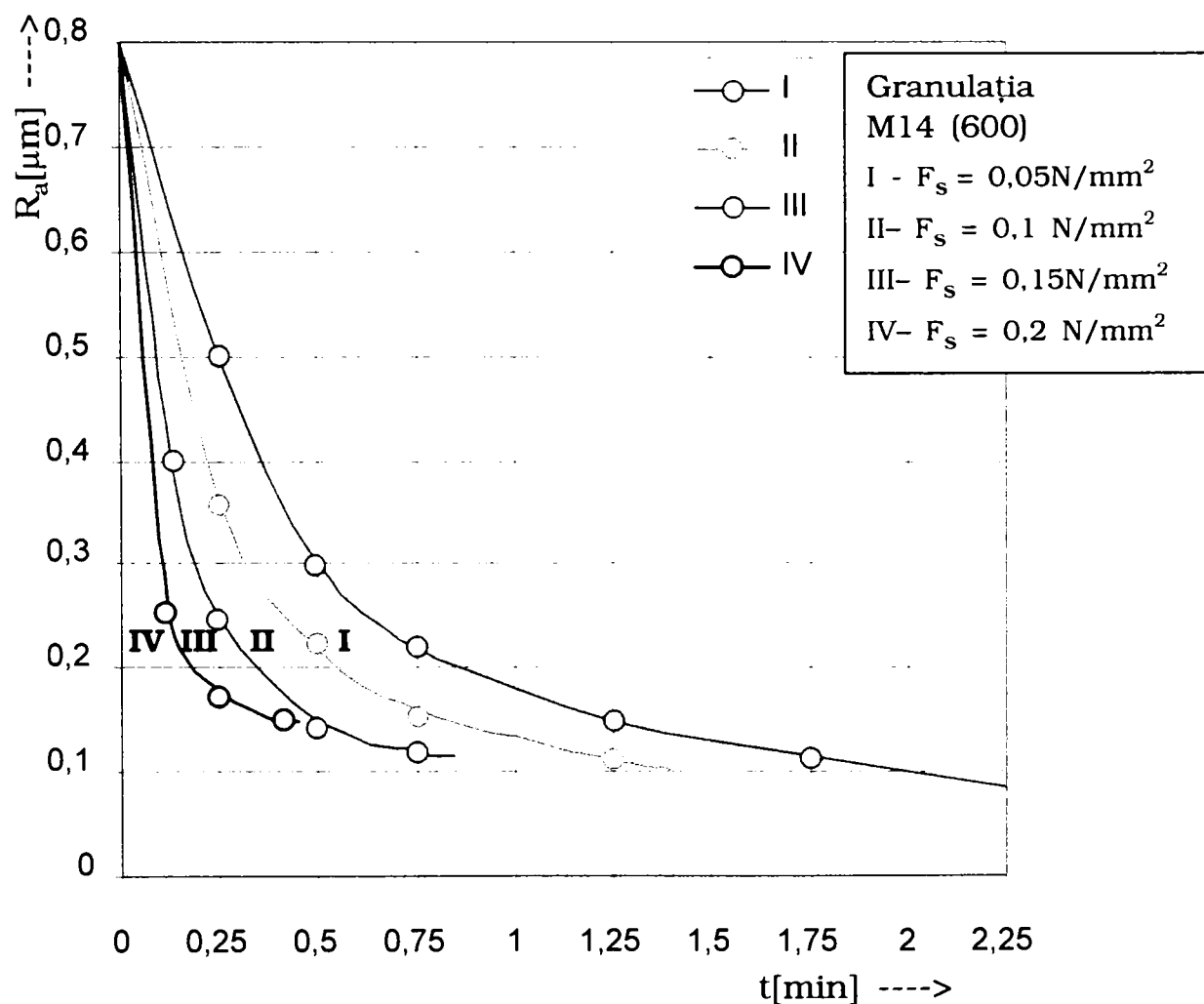


**Figura 4.22** – Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională, pentru granulația M28 (400)



### 4.5.3. Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională pentru granulația M14 (600)

În figura 4.23 se redau graficele din care rezultă dependența dintre rugozitatea obținută și timpul de prelucrare pentru diferite valori ale forței specifice convenționale, corespunzătoare granulației M14. Graficele arată că se pot obține rugozități mai mici, până la valoarea  $R_a = 0,075 \mu\text{m}$  cu o forță specifică convențională de  $0,05 \text{ N/mm}^2$ , cu un timp de prelucrare de cca. 2 min.

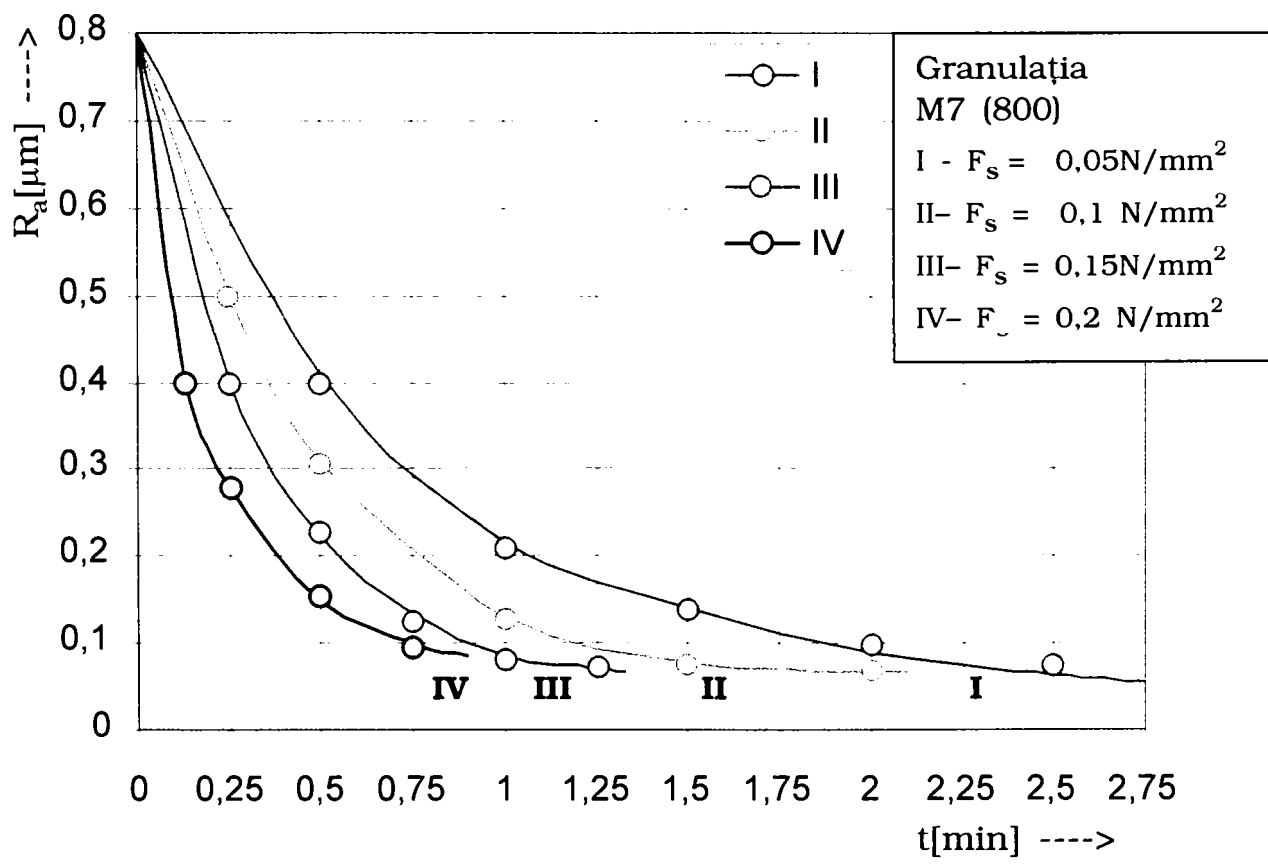


**Figura 4.23** – Dependența rugozității de timpul de prelucrare pentru granulația M14 (600)

Pentru rugozitatea  $R_a = 0,14 \mu\text{m}$ , lucrându-se cu forțe specifice convenționale de 0,05; 0,1; 0,15; și 0,2  $\text{N}/\text{mm}^2$ , se obțin timpi de prelucrare de: 1,2 min, 0,75 min, 0,55 min și 0,45 min. *Rezultă și în acest caz, că forțele de așchiere mai ridicate ca valoare, asigură timpi de prelucrare reduși și capacități de producție mai mari.*

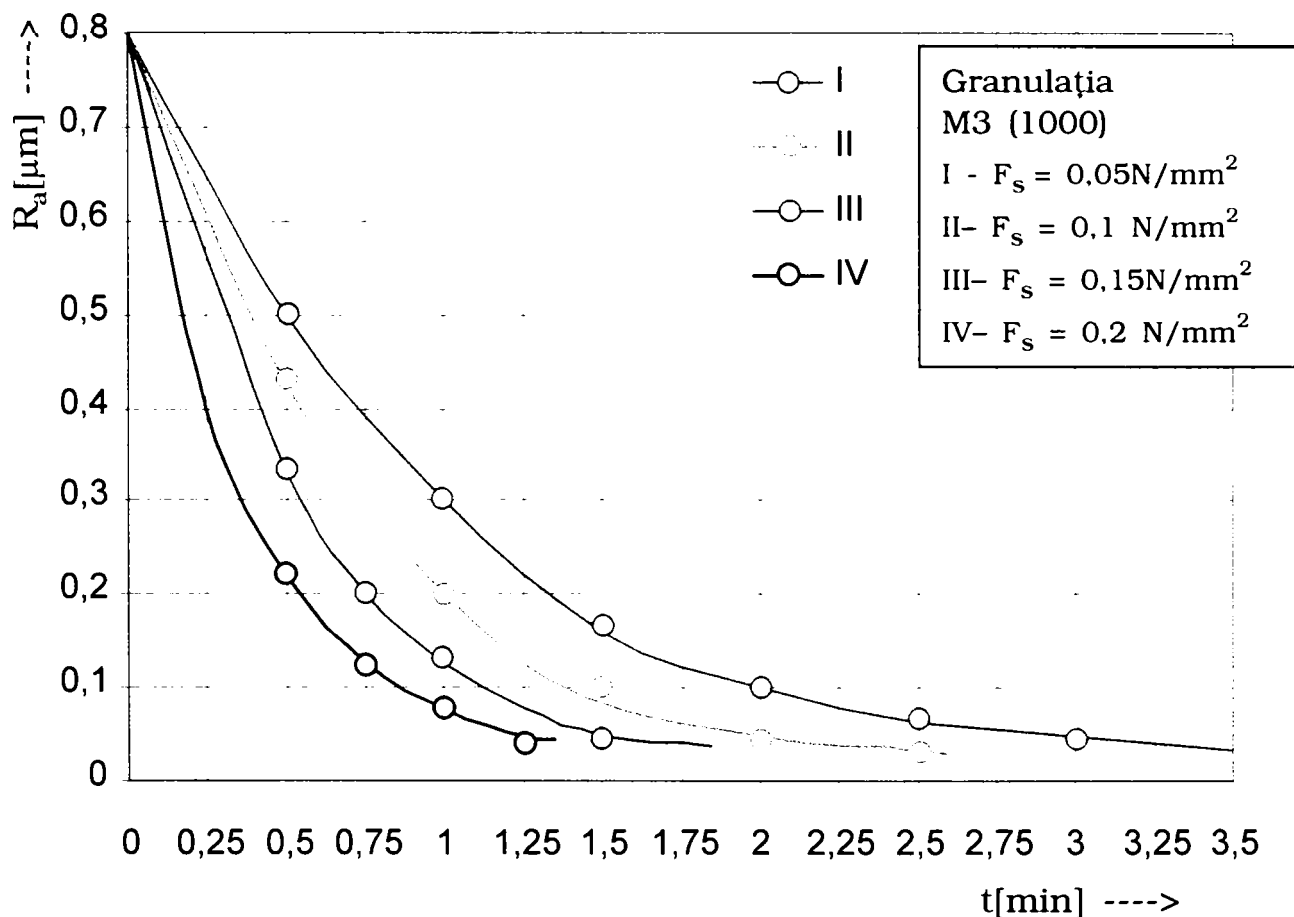
**4.5.4. Dependența rugozității de timpul de prelucrare și forța specifică convențională pentru granulațiile M7 (800) și M3 (1000)**

În figura 4.24 și 4.25 sunt prezentate graficele de dependență ale rugozității de timpul de lucru și forța specifică de prelucrare, pentru granulațiile M7 și M3.



**Figura 4.24** – Dependența rugozității de timpul de prelucrare pentru granulația M7 (800)

Din grafice rezultă că se pot obține rugozități finale mai fine, în condițiile unor timpii de prelucrare mai mari. Observațiile făcute la graficele din figurile precedente, rămân valabile și în aceste cazuri.



**Figura 4.25** – Dependența rugozității de timpul de prelucrare pentru granulația M3 (1000)

Cu valorile conținute în graficele din figurile 4.21 ÷ 4.25 s-au trasat curbele din figura 4.26, care exprimă dependența dintre timpul de prelucrare și forța specifică convențională  $F_s$ , pentru cinci valori ale granulației: M40, M28, M14, M7 și M3.

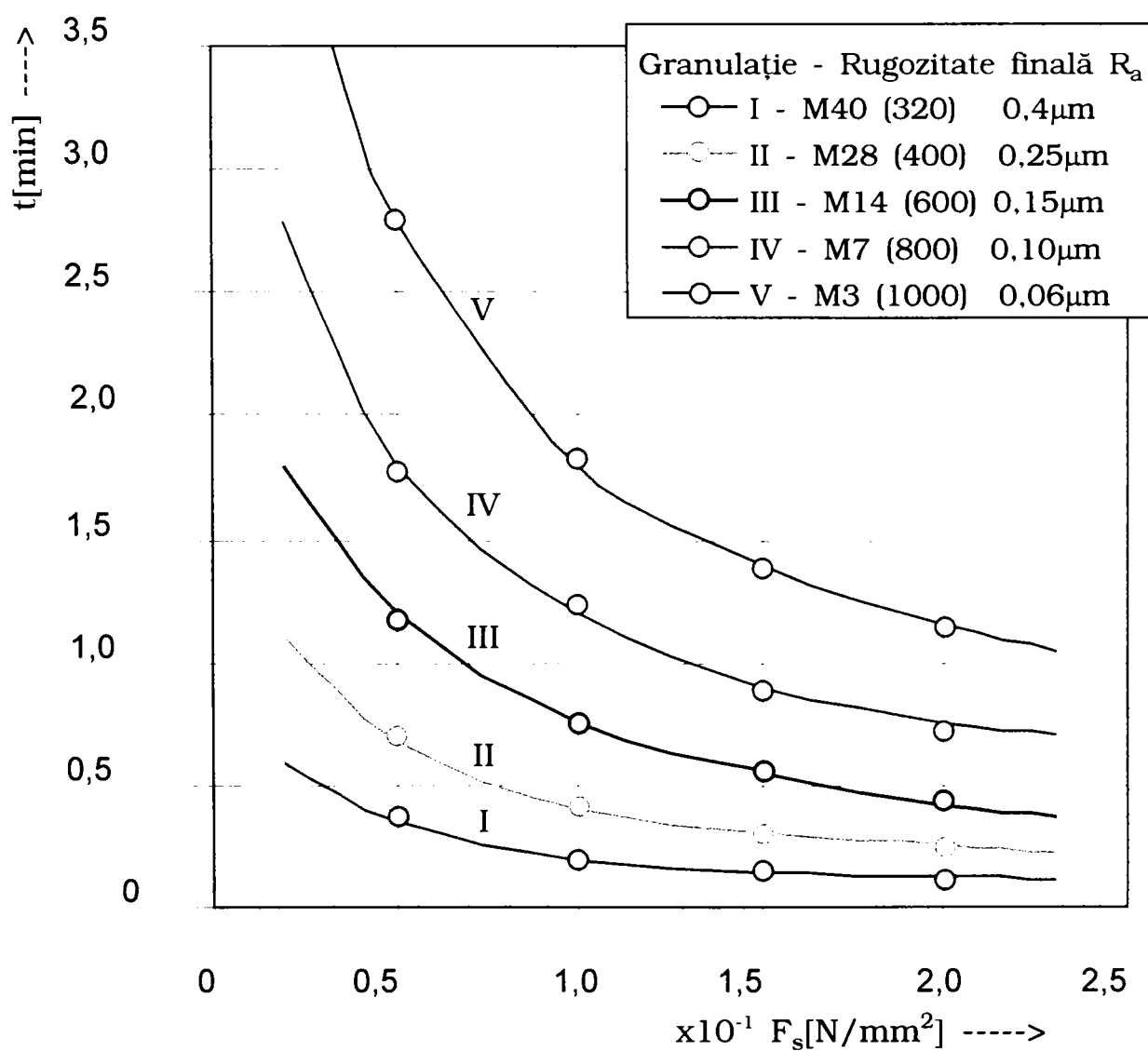
Pentru dependențele  $t = f(F_s)$ , reprezentate grafic în figura 4.26, și care evident nu au fost cunoscute până în prezent, s-au făcut prelucrările matematice necesare și s-a formulat astfel expresia timpului de bază în funcție de forța specifică convențională:

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} \quad [\text{min}] \quad (4.10)$$

unde:  $C_1$  – constantă a cărei valoare depinde de granulația barei abrazive, rugozitatea inițială și rugozitatea finală, dimensiunile suprafeței prelucrate și de viteza de rotație a piesei;

$m$  – exponent al forței specifice convenționale  $F_s$ .

Pe baza experimentărilor efectuate, s-a determinat o valoare de bază a constantei  $C_1$ , care se notează cu  $C_{01}$ , precum și valoarea exponentului  $m$ , ambele fiind date în tabelul 2.



**Figura 4.26** – Dependența dintre timpul de prelucrare și forța specifică convențională

Tabelul 2: Valorile constantelor  $C_{01}$  și  $m$  în funcție de granulație și rugozitatea finală impusă

Granulația barei abrazive	M40 (320)				M28 (400)				M14 (600)				M7 (800)				M3 (1000)			
Rugozitatea finală $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	0.40	0.35	0.30	0.25	0.25	0.22	0.20	0.15	0.15	0.12	0.1	0.075	0.09	0.075	0.06	0.04	0.06	0.05	0.04	0.025
Forța specifică conv. limită $\times 10$ $(F_s)_{lim}$ ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5	2	1.5	1	0.5
$C_{01}$	0.2	0.24	0.27	0.33	0.38	0.44	0.51	0.6	0.7	0.79	0.88	1.0	1.15	1.25	1.41	1.6	1.75	1.91	2.1	2.35
$m$	0.65				0.65				0.65				0.65				0.65			

#### 4.5.5. Influența rugozității inițiale și vitezei de rotație ale piesei asupra timpului de prelucrare

S-au determinat, de asemenea, și coeficienții de corecție, ale căror valori țin cont de rugozitatea inițială de la care începe suprafinisarea (figura 4.27), de viteza de rotație a piesei (figura 4.28) și de dimensiunile suprafeței prelucrate.

Aceste determinări s-au făcut pe baza prelucrării matematice a rezultatelor experimentale prezentate anterior.

Valoarea constantei  $C_1$  se determină cu relația:

$$C_1 = C_{01} \cdot K_R \cdot K_{1V} \cdot K_D \cdot K_L \quad (4.11)$$

în care:  $C_{01}$  – valoarea de bază a constantei, dată în tabelul 2, în funcție de rugozitatea finală necesară și de granulația barei abrazive;

$K_R$  – coeficient de corecție dat în tabelul 3, în funcție de valoarea rugozității inițiale  $R_a$ ;

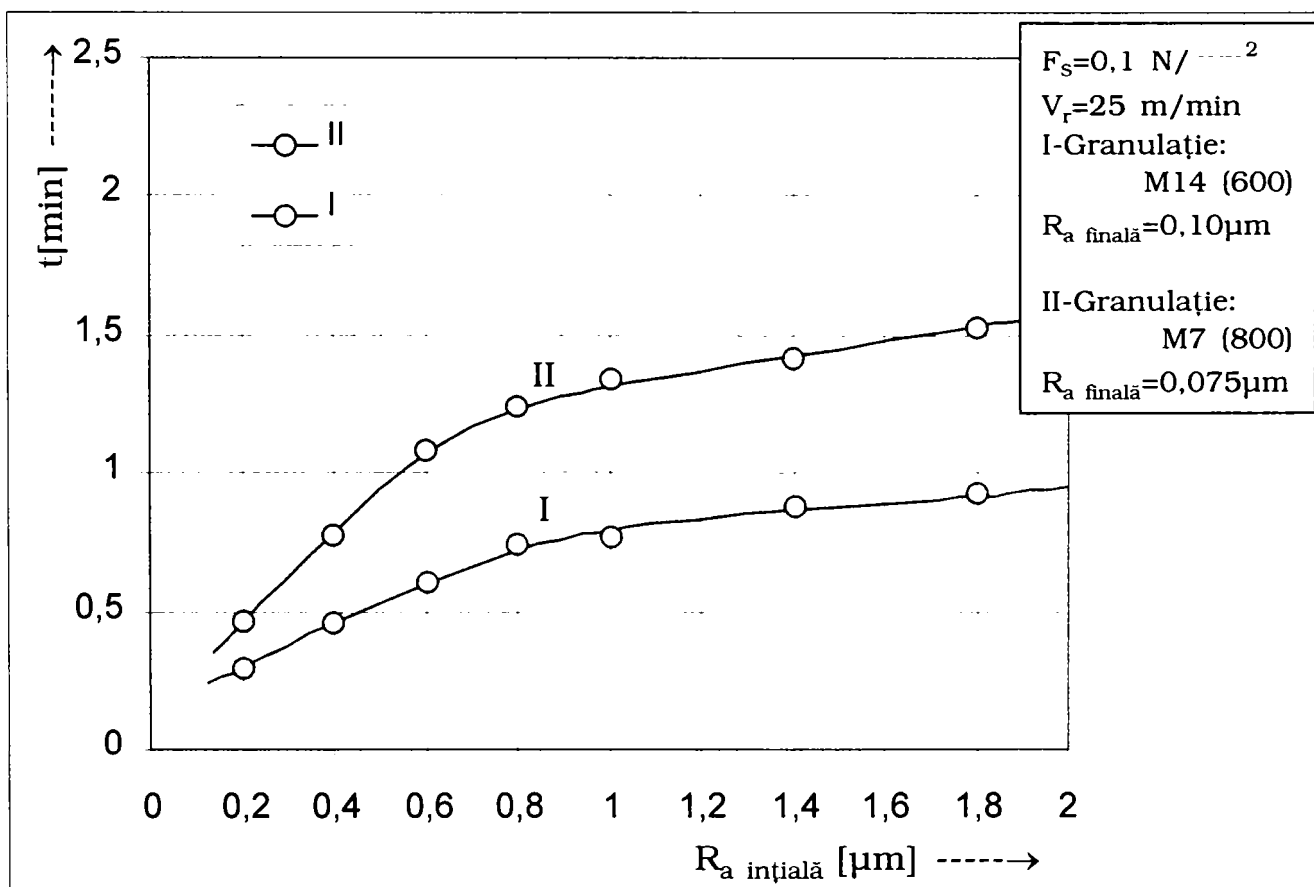
$K_{IV}$  – coeficient de corecție dat în tabelul 4, în funcție de viteza mișcării de rotație a piesei;

$K_D$  – coeficient a cărui valoare depinde de diametrul piesei prelucrate, dat în tabelul 5;

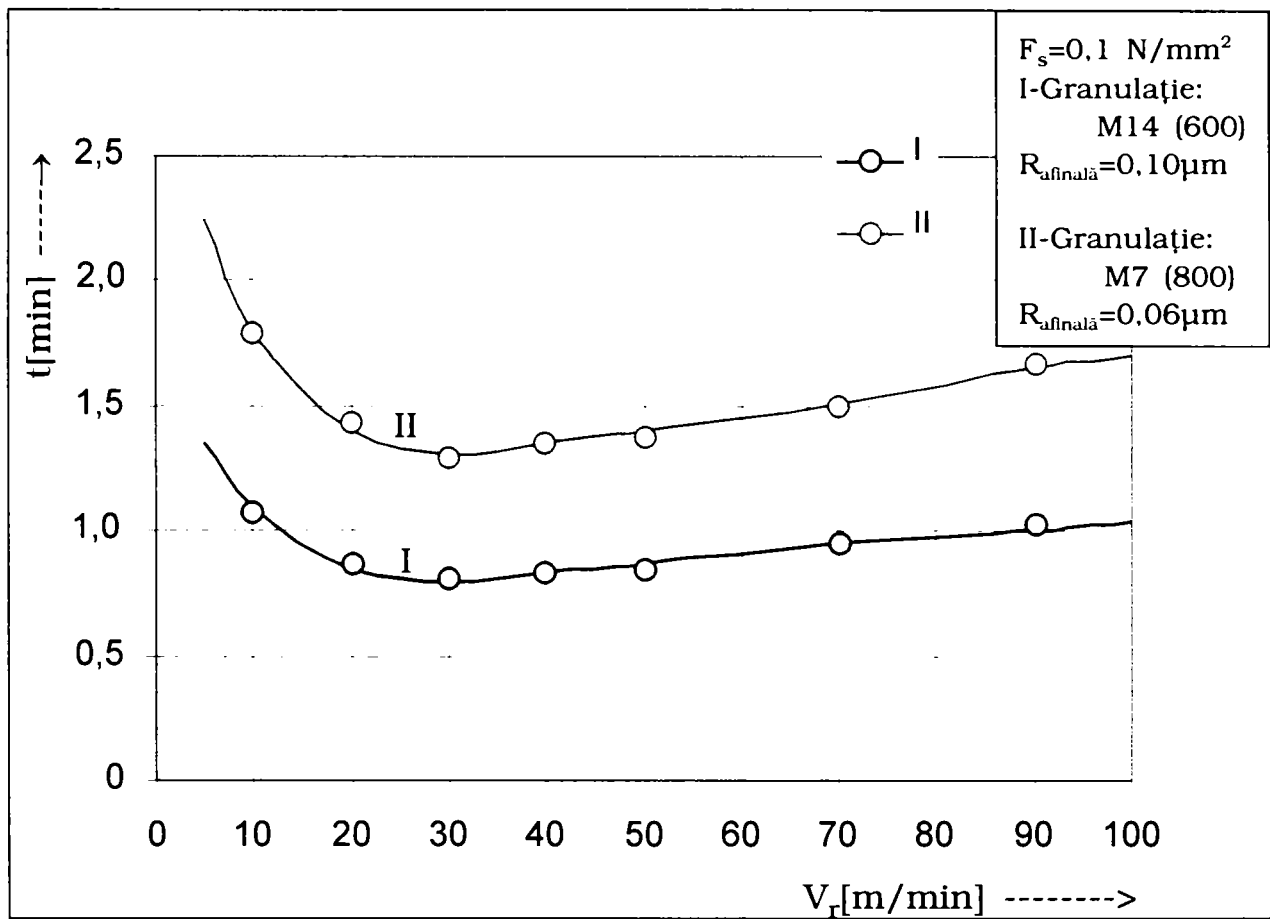
$$K_L = \frac{L}{l}, \quad (4.12)$$

unde:  $L$  – lungimea suprafeței prelucrate;

$l$  – lungimea barei abrazive.



**Figura 4.27** – Influența rugozității inițiale asupra timpului de prelucrare



**Figura 4.28** – Influența vitezei de rotație a piesei asupra timpului de prelucrare

*Relațiile (4.10) și (4.11), sunt bazate pe prelucrarea matematică a rezultatelor experimentale, și reprezintă expresiile de bază pentru proiectarea tehnologică a operației de suprafinisare, putând servi, în concret, atât la determinarea regimului optim, ceea ce constituie unul din obiectivele prezentei lucrări, cât și la operații de normare tehnică.*

Tabelul 3: Valorile coeficientului

$K_R$  în funcție de rugozitatea inițială

$(R_a)_{\text{inițială}} \mu\text{m}$	$K_R$
0,2	0,38
0,3	0,5
0,4	0,62
0,5	0,75
0,6	0,86
0,7	0,95
0,8	1,0
0,9	1,03
1,0	1,06
1,1	1,08
1,2	1,1
1,3	1,12
1,4	1,14
1,5	1,16
1,6	1,18
1,7	1,20
1,8	1,22
1,9	1,24
2,0	1,26

Tabelul 4: Valorile coeficientului

$K_{IV}$  în funcție de viteza de rotație a piesei

$V_r$ [m/min]	$\alpha^{\circ}$ [grd]	$K_{IV}$
10	25-35	1,45
15	35-45	1,25
20	45-55	1,12
25	55-60	1,0
30	60-65	1,02
40	65-70	1,06
50	70-74	1,1
60	74-76	1,15
70	76-78	1,2
80	78-80	1,26
90	80-82	1,32
100	82-84	1,4

Tabelul 5: Valorile coeficientului  $K_D$  în funcție de diametrul piesei de prelucrat

$D[\text{mm}]$	10	15	20	25	40	50	60	70	80	90	100	120	150	200	250	300	400	500
$K_D$	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	3	4	5	6	8	10



#### 4.5.6. Stabilirea forței de așchiere pentru timpul de prelucrare minim

Pentru determinarea timpului minim de realizare a unei anumite rugozități finale, rezultă pe baza celor demonstrate anterior, că este suficient ca din tabelul 2 să se aleagă cea mai mare valoare a forței specifice convenționale  $F_s$  prin care se poate obține această rugozitate. De exemplu, rugozitatea finală  $R_a = 0,15 \mu\text{m}$ , se poate obține utilizând o bară abrazivă de granulație M28, care lucrează cu  $F_s = 0,05 \text{ N/mm}^2$  sau cu o bară abrazivă cu granulația M14, care lucrează cu  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ , obținându-se timpi de bază diferiți.

Considerând cazul prelucrării unei piese cu dimensiunile  $\varnothing 50 \times 120$ , rugozitatea inițială  $R_a = 0,8 \mu\text{m}$  și viteza de rotație  $V_r = 25 \text{ m/min}$ , cu o bară abrazivă cu lungimea de 60 mm, aplicând cele menționate se va obține:

I – La prelucrarea cu  $F_s = 0,05 \text{ N/mm}^2$  și granulația M28, timpul de bază (calculat cu relația 4.10) are valoarea:

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{1,2}{0,05^{0,65}} = 1,9 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 1,2$  (conform relației 4.11)

$K_L = 2$  (conform relației 4.12)

II – La prelucrarea cu  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$  și granulația M14, se obține un timp de bază (calculat cu relația 4.10):

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{1,4}{0,2^{0,65}} = 0,9 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 1,4$  (conform relației 4.11)

$K_L = 2$  (conform relației 4.12)

Considerând un alt caz, în care se prelucurează o piesă cu dimensiunile  $\varnothing 80 \times 180$  și rugozitatea inițială  $R_a = 0,6 \mu\text{m}$ , cu viteza de rotație  $V_r = 40 \text{ m/min}$ , pentru realizarea unei rugozități finale  $R_a = 0,075 \mu\text{m}$ , se pot utiliza bare abrazive cu granulația M14 sau M7:

I - La prelucrarea cu  $F_s = 0,05 \text{ N/mm}^2$ , granulație M14, rezultă un timp de bază (calculat cu relația 4.10):

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{3,88}{0,05^{0,65}} = 6,2 \text{ min}$$

în care:

$$C_1 = 3,88 \quad (\text{conform relației 4.11})$$

$$K_L = 3 \quad (\text{conform relației 4.12})$$

II - La prelucrarea cu  $F_s = 0,15 \text{ N/mm}^2$ , granulația M7, se obține un timp de bază (calculat cu relația 4.10):

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{4,85}{0,15^{0,65}} = 3,7 \text{ min}$$

unde:

$$C_1 = 4,85 \quad (\text{conform relației 4.11})$$

și respectiv:

$$K_L = 3 \quad (\text{conform relației 4.12})$$

Din cele două exemple prezentate rezultă că, lucrând cu cele mai mari valori posibile ale forței specifice convenționale  $F_s$ , prin care se asigură rugozitatea finală impusă, se obține cel mai mic timp de prelucrare și implicit capacitatea de producție maximă.

*Pentru determinarea valorii de referință a forței de așchiere  $F$  care să asigure capacitatea de producție maximă a procesului de suprafinisare se procedează în felul următor:*

a) Din tabelul 2, se alege forța specifică convențională cu cea mai mare valoare, prin care se poate asigura rugozitatea finală impusă, precum și granulația corespunzătoare a barei abrazive. Duritatea barei

abrazive se alege în funcție de duritatea stratului superficial al piesei de prelucrat.

b) Se determină viteza de rotație a piesei, astfel încât unghiul de atac  $\alpha$  să aibă valoarea de  $60^\circ$ , precum frecvența maximă a mișcării oscilatorii.

c) Cu mărimea forței specifice convenționale  $F_s$ , se determină valoarea de referință a forței de așchiere, folosind relația (4.9).

d) Se determină timpul de bază al prelucrării cu relația (4.10).

e) Se determină avansul longitudinal al barei abrazive cu relația:

$$f_l = \frac{(L-l) \cdot i}{n_t} \quad [\text{mm/rot}] \quad (4.13)$$

în care:  $L$  – lungimea suprafeței prelucrate în mm;

$l$  – lungimea barei abrazive în mm;

$i$  – numărul de treceri al barei abrazive pe suprafața piesei prelucrate;

$n_t$  – numărul total de rotații executate de piesă în timpul prelucrării, care se calculează cu expresia:

$$n_t = n \cdot t_b \quad [\text{rot}] \quad (4.14)$$

unde:  $n$  – turația piesei (rot/min)

$t_b$  – timpul de bază (min)

*În ce privește numărul de treceri, se ține seama atât de timpul de bază determinat, cât și de avansul longitudinal care trebuie să aibă valoarea  $f_l = j \cdot a$ , unde  $j = 1/20 \dots 1/5$ , iar  $a$  – lățimea barei abrazive, care trebuie să aibă o valoare întreagă.*

Procedura de calcul este următoarea:

având:  $f_1 = j \cdot a$  și  $t_b = \frac{(L-l) \cdot i}{n \cdot s_1}$ , se obține:

$$t_b = \frac{(L-l) \cdot i}{n \cdot j \cdot a} \quad ; \text{ în care } i - \text{ necunoscut}; \quad (4.15)$$

Pentru  $j$  se alege în primă aproximație valoarea medie, adică  $j = 0,1$ ; Deci din (4.15) se determină numărul  $i_t$  - teoretic:

$$i_t = \frac{t_b \cdot n \cdot a}{(L-l) \cdot 10} \quad (4.16)$$

Valoarea astfel obținută, nu este de regulă un număr întreg, deci se va rotunji la  $i$  - număr întreg și se verifică dacă  $j$  se află în limitele recomandate, respectiv dacă se satisface condiția:

$$\frac{1}{20} \leq j = \frac{(L-l) \cdot i}{n \cdot t_b \cdot a} \leq \frac{1}{5} \quad (4.17)$$

Condiție care este de regulă satisfăcută și care atestă valoarea determinată pentru  $i$  cu expresia (4.16) care este rotunjită la un număr întreg. *Din considerente de reducere a timpului auxiliar, este necesar ca  $i$  să fie un număr par, pentru ca sania să revină în poziția inițială.* Rotunjirea se va face la cel mai apropiat număr par de  $i_t$ .

Cu determinările de mai sus, viteza de avans a mesei va rezulta din  $n$  și  $f_1$ , adică:

$$V_f = n \cdot f_1 \quad (4.18)$$

care se instalează la acționarea rectilinie - alternativă a mesei sau la cărucior.

*Exemplu de calcul:*

Suprafinisarea unui bolt, având dimensiunile  $\varnothing 48 \times 240$ , rugozitatea inițială  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$  și duritate medie 62 HRC, pentru care se stabilesc următoarele elemente:

a) Din tabelul 2, se alege  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$  și granulația M7 care asigură rugozitatea finală  $R_a = 0,09 \text{ }\mu\text{m}$ . Duritatea barei abrazive: D, dimensiunile: 20 x 20 x 60 mm.

b) Viteza mișcării de rotație care asigură  $\alpha = 60^\circ$ , are valoarea  $V_r = 25 \text{ m/min}$ .

c) Valoarea de referință a forței de așchiere este:

$$F_0 = 2,4 \text{ N} \quad (\text{conform relației 4.9})$$

d) Timpul de bază are valoarea (conform relației 4.10):

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{4,36}{0,2^{0,65}} = 2,8 \text{ min}$$

$$C_1 = 4,36 \quad (\text{conform relației 4.11})$$

$$K_L = 4 \quad (\text{conform relației 4.12})$$

e) Avansul longitudinal se va determina după următorul itinerariu:

$$i_t = 5,2 \quad (\text{conform relației 4.16})$$

$i_t$  - numărul de treceri teoretic;

Rotunjind la o valoare pară apropiată, numărul de treceri  $i = 4$ , rezultă:

$$j = 0,077 \quad (\text{conform relației 4.17})$$

Deci, condițiile relației (4.17) sunt satisfăcute.

Valoarea avansului longitudinal se determină cu expresia:

$$f_1 = 1,52 \text{ mm/rot} \quad (\text{conform relației 4.13})$$

iar viteza de avans (conform relației 4.18) va avea valoarea:

$$V_f = 252 \text{ mm/min}$$

Se poate concluziona, deci, că pe baza rezultatelor experimentale obținute și a metodologiei stabilite, este posibil să se determine parametrii regimului de lucru și valoarea de referință a forței de așchiere, ce asigură obținerea rugozității finale prescrise și capacitate de producție maximă, la suprafinisarea pieselor de mașini.

#### 4.6. Cercetări experimentale pentru stabilirea dependenței dintre uzura barei abrazive ( $U_s$ ) și forța specifică convențională ( $F_s$ )

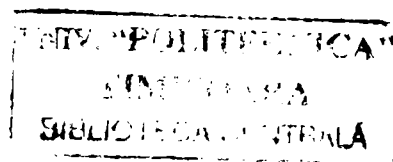
În scopul determinării acestei dependențe s-au efectuat experimentări de suprafinisare a unor piese având dimensiunile  $\varnothing 50 \times 250$  și durități medii de 20 HRC, 32 HRC și 60 HRC, corespunzătoare oțelurilor normalizate, îmbunătățite și respectiv cementate-călite.

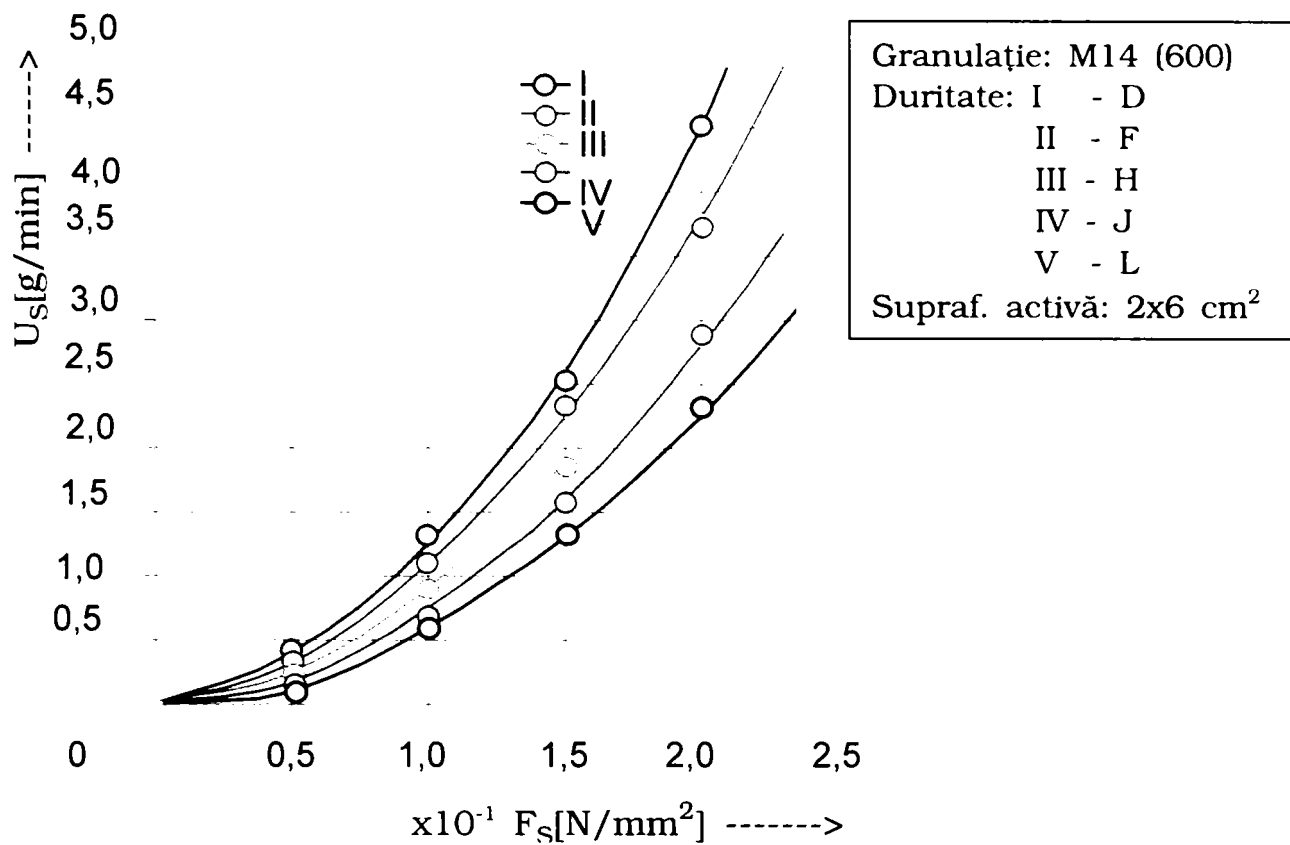
Au fost utilizate bare abrazive de aceeași marcă, TYROLIT de diferite durități și granulații, cu dimensiunile de  $20 \times 20 \times 60$  mm și  $30 \times 30 \times 60$  mm. Determinarea uzurii s-a făcut pentru valori ale forței specifice convenționale:  $F_s = 0,05; 0,1; 0,15$  și  $0,2 \text{ N/mm}^2$ , care au fost menținute constante.

În figura 4.29 este redată dependența între uzura specifică a barelor abrazive  $U_s$ , în grame pe minut, și forța specifică convențională  $F_s$ . Curbele I, II, III, IV și V corespund durităților barelor abrazive: D, F, H, J și L, care sunt recomandate la suprafinisare.

Uzurile specifice ale barelor abrazive de diferite durități au fost determinate prin suprafinisarea unor piese având durități corespunzătoare, adică mai mari pentru barele abrazive de durități mai mici, recomandată în literatură [4, 22].

Datele din grafic au fost determinate pentru viteze de rotație  $V_r = 25 \text{ m/min}$  și unghiul de atac  $\alpha = 60^\circ$ , iar apoi prin utilizarea altor valori ale vitezei de rotație, s-a determinat influența acesteia asupra uzurii specifice a barei abrazive și s-au stabilit valorile unor coeficienți de corecție.





**Figura 4.29** – Dependența dintre uzura specifică ( $U_s$ ) și forța specifică convențională ( $F_s$ ), pentru diferite durități ale barelor abrazive

Din graficele de dependență rezultă că uzura specifică a barelor abrazive crește cu creșterea valorii forței specifice convenționale.

*Creșterea uzurii se accentuează spre valorile superioare ale forței specifice convenționale, ceea ce corespunde unei autoascuțiri intense a barei abrazive, când granulele abrazive sunt smulse din liant înainte de a li se utiliza întreaga capacitate așchietoare.*

Se mai poate constata că, așa cum era de așteptat, uzurile specifice de valori mai mari le au barele abrazive cu durități mai mici.

Prin prelucrarea matematică a rezultatelor experimentale s-a stabilit relația analitică prin care se poate exprima *dependența dintre uzura specifică a barei abrazive  $U_s$  și forța specifică convențională  $F_s$* , care este:

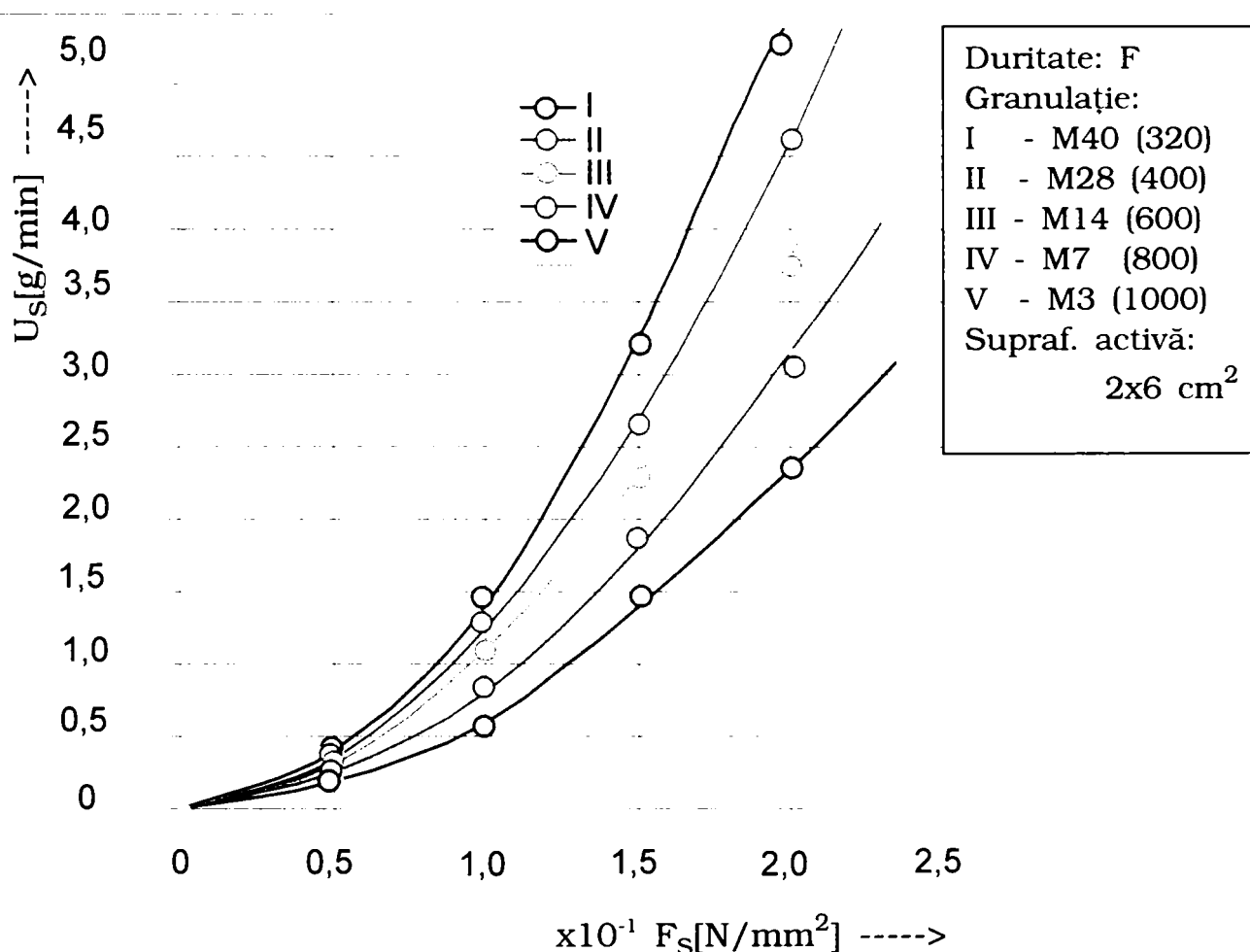
$$U_s = C_2 \cdot F_s^n \quad [\text{g/min}] \quad (4.19)$$



în care:  $C_2$  – constantă a cărei valoare depinde de duritatea, granulația și dimensiunile barei abrazive cu care se lucrează, precum și de viteza mișcării de rotație a piesei, și se determină cu expresia (4.20);

$n$  – exponentul forței specifice  $F_s$ .

Pentru a determina *influența granulației barei abrazive asupra uzurii specifice*, au fost efectuate experimentări de suprafinisare cu bare abrazive de aceeași duritate  $F$  și granulații diferite: M40, M28, M14, M7 și M3. Rezultatele acestor experimentări sunt redată grafic în figura 4.30.



**Figura 4.30** – Dependența dintre uzura specifică ( $U_s$ ) și forța specifică convențională ( $F_s$ ), pentru diferite valori ale granulației barelor abrazive

Din analiza graficelor prezentate în figura 4.30 rezultă că *uzurile specifice sunt mai mari la barele abrazive cu granulație mai mare*. Pe

baza acestor grafice s-au stabilit valorile unor coeficienți de corecție prin care se ține seama de influența granulației barei abrazive asupra uzurii specifice.

Valoarea constantei  $C_2$  se va determina cu relația:

$$C_2 = C_{02} \cdot K_G \cdot K_{2V} \cdot K_A \quad (4.20)$$

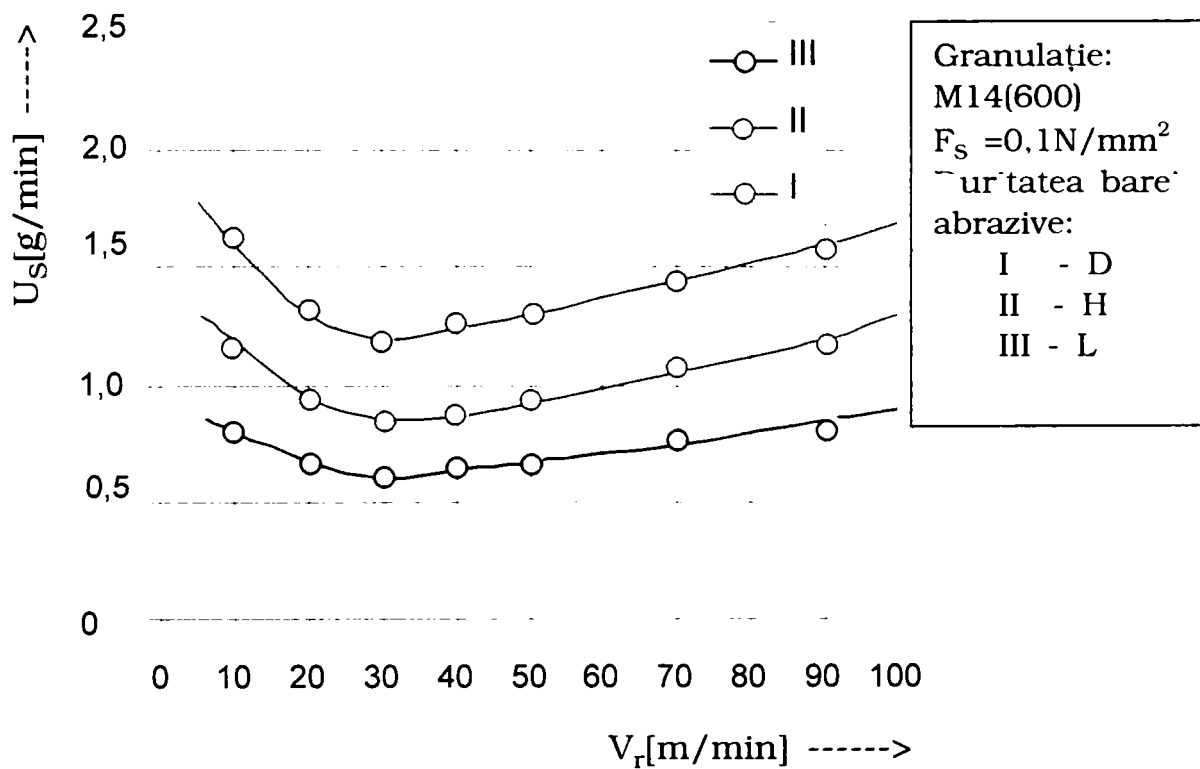
în care:  $C_{02}$  - valoarea de bază a constantei, dată în tabelul 6

(vezi pagina 102), în funcție de duritatea barelor abrazive;

$K_G$  - coeficient de corecție dat în tabelul 7 (vezi pagina 103), în funcție de granulația barei abrazive;

$K_{2V}$  - coeficient de corecție dat în tabelul 8 (vezi pagina 103), în funcție de viteza mișcării de rotație a piesei (figura 4.31);

$K_A$  - coeficient a cărui valoare depinde de aria suprafeței active a barei abrazive, dat în tabelul 9 (vezi pagina 103), pentru dimensiunile normale ale barelor abrazive.



**Figura 4.31** - Dependența dintre uzura specifică ( $U_s$ ) a barei abrazive și viteza de rotație a piesei ( $V_r$ )

Uzura ( $U$ ) a barei abrazive la prelucrarea unei piese se determină ținând seama de uzura specifică ( $U_s$ ) pentru cazul tehnologic concret și de timpul de bază al operației de suprafinisare ( $t_b$ ), cu relația:

$$U = U_s \cdot t_b \text{ [g]} \quad (4.21)$$

Ținând seama de relațiile (4.9), (4.10) și respectiv (4.14), se obține:

$$U = C_2 \cdot F_s^n \cdot \frac{C_1}{F_s^m} \text{ [g]} \quad (4.22)$$

sau:

$$U = C_1 \cdot C_2 \cdot F_s^{n-m} \text{ [g]} \quad (4.23)$$

$C_1$ ,  $C_2$  - constante determinate la paragraful 4.5.5., respectiv 4.6.

Expresia (4.22) sau (4.23) permite determinarea uzurii barei abrazive în funcție de forța specifică convențională cu care se lucrează.

Tabelul 6: Valorile constantelor  $C_{02}$  și  $n$  în funcție de duritatea barei abrazive

Duritatea barei abrazive	D	F	H	J	L
Constanta $C_{02}$	1,20	1,05	0,90	0,75	0,60
Exponentul $n$	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9

Tabelul 7: Valorile coeficientului  $K_G$   
 în funcție de granulația barei abrazive

Granulația barei abrazive	M40 (320)	M28 (400)	M14 (600)	M7 (800)	M3 (1000)
Coeficientul $K_G$	1,35	1,20	1,0	0,8	0,6

Tabelul 8: Valorile coeficientului  $K_{2V}$   
 în funcție de viteza mișcării de rotație a piesei

Viteza de rotație $V_r$ (m/min)	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
Unghiul de atac $\alpha$ [grad]	25-35	35-45	45-55	55-60	60-65	65-70	70-74	74-76	76-78	78-80	80-82	82-84
Coeficientul $K_{2V}$	1,3	1,18	1,08	1,0	0,98	1,02	1,08	1,14	1,2	1,25	1,3	1,35

Tabelul 9: Valorile coeficientului  $K_A$   
 în funcție de aria suprafeței active a barei abrazive

Supraf. activă $a \times l$ (cm)	0,4x4	0,6x4	1x6	1,3x6	1,8x6	2x6	2,5x6	3x6
$S$ (cm <sup>2</sup> )	1,6	2,4	6	7,8	10,8	12	15	18
Coeficientul $K_A$	0,13	0,20	0,50	0,66	0,92	1,0	1,25	1,50

*Exemplu de calcul:* Pentru suprafinisarea unui bolț, care are dimensiunile  $\varnothing 48 \times 240$ , rugozitatea inițială  $R_a = 0,7 \mu\text{m}$ , rugozitatea finală  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ , și duritate medie 62 HRC, care se prelucrează cu o bară abrazivă de granulație M7, duritatea D și dimensiunile 20x20x60mm, a rezultat un timp de bază  $t_b = 2,8 \text{ min}$ .

Uzura barei abrazive se poate determina cu relația (4.21):

$$U = 10 \text{ g}$$

$$U_s = 3,57 \text{ g/min (conform relației 4.19)}$$

$$C_2 = 0,96 \quad \text{(conform relației 4.20)}$$

## Concluzii

- ◆ Între rugozitatea finală obținută prin suprafinisare și forța specifică convențională, există o relație bine determinată. Pe baza graficelor de dependență stabilite experimental pentru diferite granulații ale barelor abrazive, se poate determina valoarea forței specifice convenționale care asigură obținerea rugozității finale prescrise. În acest caz, se neglijează capacitatea productivă și costul operației de suprafinisare.
- ◆ Rugozitatea finală depinde și de viteza de rotație a piesei prelucrate: prin creșterea vitezei, se pot obține rugozități mai mici. Graficele de dependență stabilite experimental, permit determinarea rugozității finale obținute cu diferite valori ale vitezei.
- ◆ S-a stabilit că între timpul de bază al operației de suprafinisare și forța specifică convențională, există o interdependență care s-a exprimat printr-o relație obținută pe baza prelucrării datelor experimentale, expresia (4.10). Valorile constantelor și coeficienților din această formulă au fost determinate pe baza unui număr mare de măsurători. Cu această relație, este posibil să se stabilească valoarea de referință a forței de așchiere prin care se asigură timpul minim de prelucrare și deci capacitatea de producție maximă.
- ◆ S-a determinat experimental și dependența dintre uzura barei abrazive și forța specifică convențională, care, de asemenea, poate fi exprimată printr-o relație având structura, valorile constantelor și coeficienților, determinate pe baza prelucrării datelor experimentale.

## 5. Determinarea forței de așchiere corespunzătoare costului minim al operației de suprafinisare

### 5.1. Analiza costului operației de suprafinisare

În vederea stabilirii valorii de referință a forței de așchiere, pentru costul minim al operației de suprafinisare, este necesară analiza cheltuielilor care compun acest cost.

Dacă se notează cu:

$C$  – costul operației de suprafinisare ;

$C_u$  – cheltuielile unitare, care se fac pentru prelucrarea unei singure piese;

$C_p$  – cheltuielile de pregătire, care se fac o singură dată pentru prelucrarea unui lot de  $N$  piese.

rezultă:

$$C = C_u + \frac{C_p}{N} \quad (5.1)$$

Cheltuielile unitare sunt compuse din:

a) cheltuieli de funcționare a utilajului, proporționale cu timpul de prelucrare, în care se includ:

- cheltuieli pentru manoperă;
- cheltuieli de amortisment a mașinii și S.D.V.-urilor;
- cheltuieli de regie;

b) cheltuieli cu barele abrazive.

Pentru cheltuielile unitare –  $C_u$  dacă se notează:

$C_t$  – cheltuielile proporționale cu timpul de prelucrare,

$C_s$  – cheltuielile cu barele abrazive, se obține relația de calcul a

acestora:

$$C_u = C_t + C_s \quad (5.2)$$

Cheltuielile de pregătire -  $C_p$  sunt compuse din:

- a) cheltuieli pentru pregătirea - încheierea prelucrării lotului de piese, proporționale cu timpul de pregătire - încheiere;
- b) cheltuieli suplimentare cu S.D.V.-urile;
- c) cheltuieli cu salariul reglorului.

Partea din cheltuielile de pregătire - încheiere, care revin unei piese din lot, notată cu  $C_{lp}$ , este:

$$C_{lp} = \frac{C_p}{N} \quad (5.3)$$

Dacă numărul pieselor din lot este mare, cheltuielile de pregătire - încheiere sunt mult mai mici decât cheltuielile unitare, putând fi chiar neglijate.

Timpul unitar al operației de suprafinisare se compune din:

$t_b$  - timpul de bază (tehnologic), care după cum s-a văzut, în cazul suprafinisării cu forța de așchiere -  $F$  constantă, depinde de:

- diametrul și lungimea suprafeței de prelucrat;
- rugozitatea inițială;
- rugozitatea finală impusă;
- caracteristicile barei abrazive;
- viteza mișcării de rotație a piesei.

$t_a$  - timpul auxiliar, care cuprinde următoarele elemente:

- timpul de schimbare a piesei prelucrate;
- timpul executării curselor în gol;
- timpul de măsurare (verificare) a piesei;
- timpul de schimbare a barei abrazive, raportat la numărul de piese ce se pot prelucra cu o bară abrazivă (între două reascuțiri).



$t_d$  – timpul de deservire a mașinii, care se consideră ca o cotă parte din suma ( $t_b + t_a$ ), la valoarea de 6% [22];

$t_o$  – timpul de odihnă și necesități firești, considerat de asemeni ca o cotă parte din ( $t_b + t_a$ ), la o valoare cuprinsă în intervalul de 6-9%.

Relația de calcul a timpului unitar va fi:

$$t_u = t_b + t_a + t_d + t_o \text{ [min]} \quad (5.4)$$

Timpii  $t_d$  și  $t_o$  fiind cotă parte din suma ( $t_b + t_a$ ), pot fi stabiliți printr-un coeficient supraunitar a cărei valoare este estimată la:

$$K_1 = 1,12 \dots 1,15$$

rezultând pentru timpul unitar următoarea relație:

$$t_u = K_1(t_b + t_a) \text{ [min]} \quad (5.5)$$

Considerând  $q_1$  costul unui minut de funcționare a utilajului, se obține relația de calcul a cheltuielilor de funcționare a utilajului:

$$C_t = q_1 \cdot K_1(t_b + t_a) \text{ [lei]} \quad (5.6)$$

Dacă se notează cu  $q_2$  costul specific al barelor abrazive, în lei/gram, și ținând seama de notația uzurii barei abrazive ( $U$ ), în grame, rezultă relația de calcul a cheltuielilor cu barele abrazive:

$$C_s = q_2 \cdot U \text{ [lei]} \quad (5.7)$$

Având în vedere că barele abrazive nu pot fi folosite în întregime, din cauza pierderii părții de fixare în port-sculă, precum și din cauza uzării inițiale prin modelare la formarea suprafeței active, cheltuielile date de relația (5.7) trebuie amplificate cu un coeficient supraunitar  $K_2$  care, pe baza calculelor efectuate pe un număr de prelucrări, a fost aproximat la valoarea:  $K_2 = 1,15 \dots 1,20$

care ține seama că 15 ... 20% din greutatea barei abrazive nu poate fi folosită la prelucrarea pieselor. Cu acest coeficient, cheltuielile cu barele abrazive se fac cu expresia:

$$C_s = q_2 \cdot K_2 \cdot U \quad [\text{lei}] \quad (5.8)$$

Pe baza relațiilor (5.2), (5.6) și (5.8) se obține expresia de calcul a cheltuielilor unitare:

$$C_u = q_1 \cdot K_1(t_b + t_a) + q_2 \cdot K_2 \cdot U \quad [\text{lei}] \quad (5.9)$$

Luând în considerare și relațiile de dependență ale timpului de bază  $t_b$  și a uzurii barelor abrazive  $U_s$  de forța specifică convențională:

$$t_b \quad [\text{min}] \quad (\text{conform relației 4.10})$$

și respectiv

$$U_s \quad [\text{g/min}] \quad (\text{conform relației 4.19})$$

rezultă pentru cheltuielile unitare următoarea relație de calcul:

$$C_u = q_1 \cdot K_1 \left( \frac{C_1}{F_s^m} + t_a \right) + q_2 \cdot K_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot F_s^{n-m} \quad [\text{lei}] \quad (5.10)$$

Ținând seama și de cheltuielile de pregătire-încheiere, costul operației de suprafinisare este determinat cu expresia:

$$C = q_1 \cdot K_1 \frac{C_1}{F_s^m} + q_1 \cdot K_1 \cdot t_a + q_2 \cdot K_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot F_s^{n-m} + C_{1p} \quad [\text{lei}] \quad (5.11)$$

După cum se observă, costul operației de suprafinisare este compus din patru costuri parțiale, care, dacă se notează cu  $C_I$ ,  $C_{II}$ ,  $C_{III}$  și  $C_{IV}$  sunt exprimate prin relațiile:

$$C_I = q_1 \cdot K_1 \frac{C_1}{F_s^m} \quad [\text{lei}] \quad (5.12)$$

$$C_{II} = q_1 \cdot K_1 \cdot t_a \quad [\text{lei}] \quad (5.13)$$

$$C_{III} = q_2 \cdot K_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot F_s^{n-m} \quad [\text{lei}] \quad (5.14)$$

$$C_{IV} = C_{Ip} \quad [\text{lei}] \quad (5.15)$$

Rezultă că părțile de cheltuieli  $C_I$  și  $C_{III}$  sunt dependente de forța specifică convențională  $F_s$ , în timp ce părțile  $C_{II}$  și  $C_{IV}$  nu depind de  $F_s$ . Pentru concretizare se prezintă următorul exemplu de calcul.

Considerând aplicația analizată la finele subcapitolului 4.5.6, unde se va calcula costul operației de suprafinisare.

Datele inițiale ale problemei sunt:

- dimensiunile suprafeței de prelucrat:  $\varnothing 48 \times 240$  mm;
- duritatea medie a stratului superficial: 62 HRC;
- rugozitatea inițială:  $R_a = 0,7 \mu\text{m}$ ;
- rugozitatea finală:  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ ;
- granulația barei abrazive: M7 pentru  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ ;
- duritatea barei abrazive: D;
- dimensiunile barei abrazive:  $20 \times 20 \times 60$  mm.

S-au determinat următoarele valori ale parametrilor regimului de lucru:

- valoarea de referință a forței de așchiere:  $F_0 = 24 \text{ N}$ ;
- turația piesei:  $n = 166 \text{ rot/min}$ ;
- avansul longitudinal:  $f_l = 1,52 \text{ mm/rot}$ ;
- timpul de prelucrare:  $t_b = 2,8 \text{ min}$ .

Pentru costurile specifice se adoptă (pe baza datelor concrete din U.C.M.Reșița – unde se urmărește în primul rând aplicarea lucrării) valorile:

$$q_1 = 784,66 \text{ lei/min}$$

$$q_2 = 488,56 \text{ lei/g}$$

Se consideră  $t_a = 2$  min și  $C_{1p} = 28.248$  lei, precum și valorile:

$$K_1 = 1,12 \text{ și } K_2 = 1,2$$

Costul operației de suprafinisare se calculează cu relația (5.11):

$$C = 36.297 \text{ lei}$$

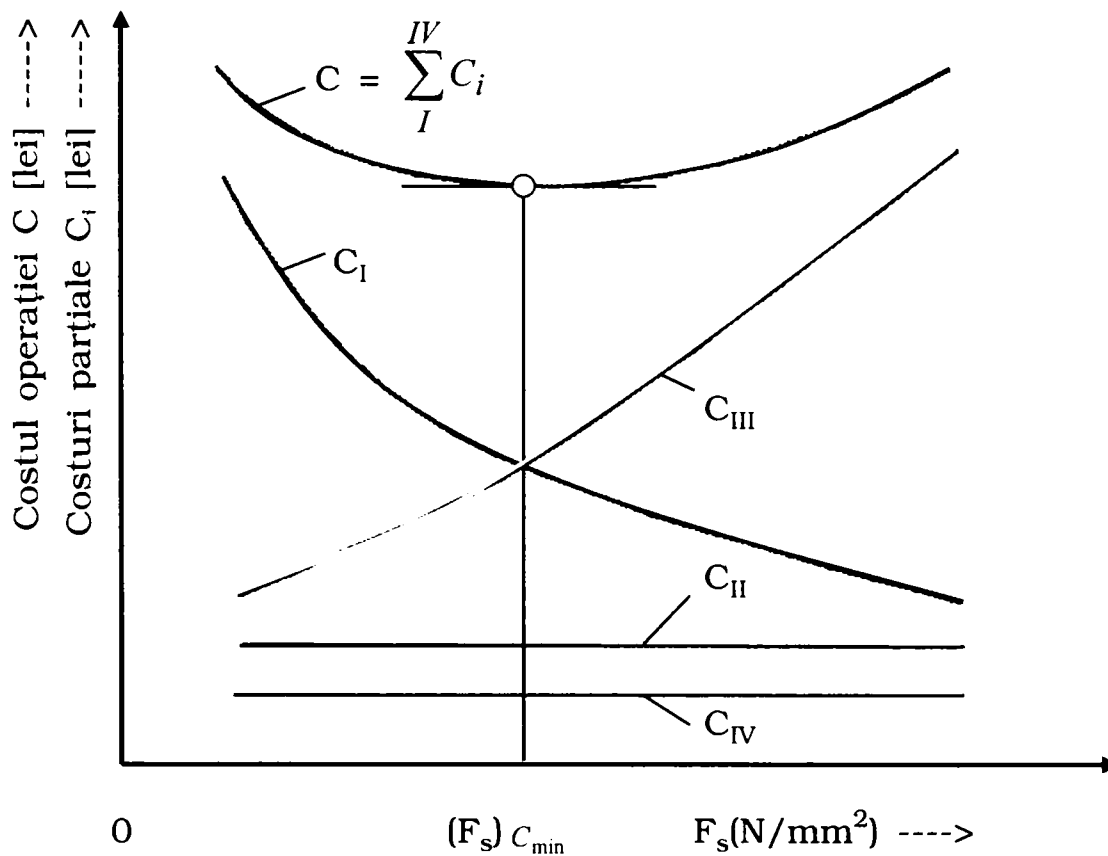
În cazul tehnologic considerat, când s-a urmărit obținerea unui timp minim de prelucrare, costul prelucrării unei piese are valoarea:

$$C = 36.297 \text{ lei}$$

Se poate aprecia că acest cost, este relativ mic, în comparație cu aportul calitativ al suprafinisării la funcționalitatea pieselor.

## 5.2. Determinarea valorii forței specifice convenționale pentru costul minim al operației

Într-un sistem de axe de coordonate, având în abscisă - forța specifică convențională  $F_s$ , iar în ordonată - costurile parțiale și costul total al operației de suprafinisare, curbele de dependență au formele din figura 5.1.



**Figura 5.1** – dependența costului operației și a costurilor parțiale de forța specifică convențională

Din analiza acestor curbe, rezultă că prin însumarea costurilor parțiale rezultă o curbă de variație a costului total care prezintă un *minim*.

Determinarea valorii forței specifice convenționale care asigură costul minim al operației de suprafinisare, se poate face pe cale grafică

pentru fiecare caz tehnologic concret, sau analitic, ca în cele ce urmează.

Relația (5.11) este o funcție de variabilă  $F_s$ , care prin derivare, se obține expresia:

$$C' = -\frac{mq_1K_1C_1}{F_s^{m+1}} + (n-m) \cdot q_2 \cdot K_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot F_s^{n-m-1} \quad (5.16)$$

de unde se determină forța specifică convențională  $F_{os}$  a forței specifice convenționale care asigură costul minim al operației prin anularea lui  $C'$ :

$$-\frac{mq_1K_1C_1}{F_s^{m+1}} + (n-m) \cdot q_2 \cdot K_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot F_s^{n-m-1} = 0 \quad (5.17)$$

din care rezultă:

$$F_s^n = \frac{mq_1K_1C_1}{(n-m)q_2K_2C_1C_2} \quad (5.18)$$

După simplificare cu  $C_1$ , se obține relația care permite calculul valorii forței specifice convenționale, pentru costul minim al operației:

$$F_s C_{\min} = \sqrt[n]{\frac{mq_1K_1}{(n-m)q_2K_2C_2}} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (5.19)$$

Înlocuind această valoare în expresia (5.11), se obține relația de calcul a costului minim al operației de suprafinisare, la prelucrarea cu forță de așchiere constantă:

$$C_{\min} = \frac{q_1K_1C_1}{\left[\frac{mq_1K_1}{(n-m)q_2K_2C_2}\right]^{\frac{m}{n}}} + q_1K_1t_a + \frac{q_2K_2C_1C_2}{\left[\frac{mq_1K_1}{(n-m)q_2K_2C_2}\right]^{\frac{n-m}{n}}} + C_{1p} \quad [\text{lei}] \quad (5.20)$$

Relațiile (5.19) și (5.20), sunt folosite la determinarea regimului optim de prelucrare din considerente economice, ceea ce se apreciază ca foarte important, în condițiile existente azi pe plan mondial, când pentru acest regim nu există decât unele date experimentale.

### 5.3. Analiza limitărilor la suprafinisarea cu costul minim al operației

Cu ajutorul relației (5.19) sau pe cale grafică, pentru fiecare caz tehnologic concret, se poate determina valoarea forței specifice convenționale care asigură costul minim al operației de suprafinisare.

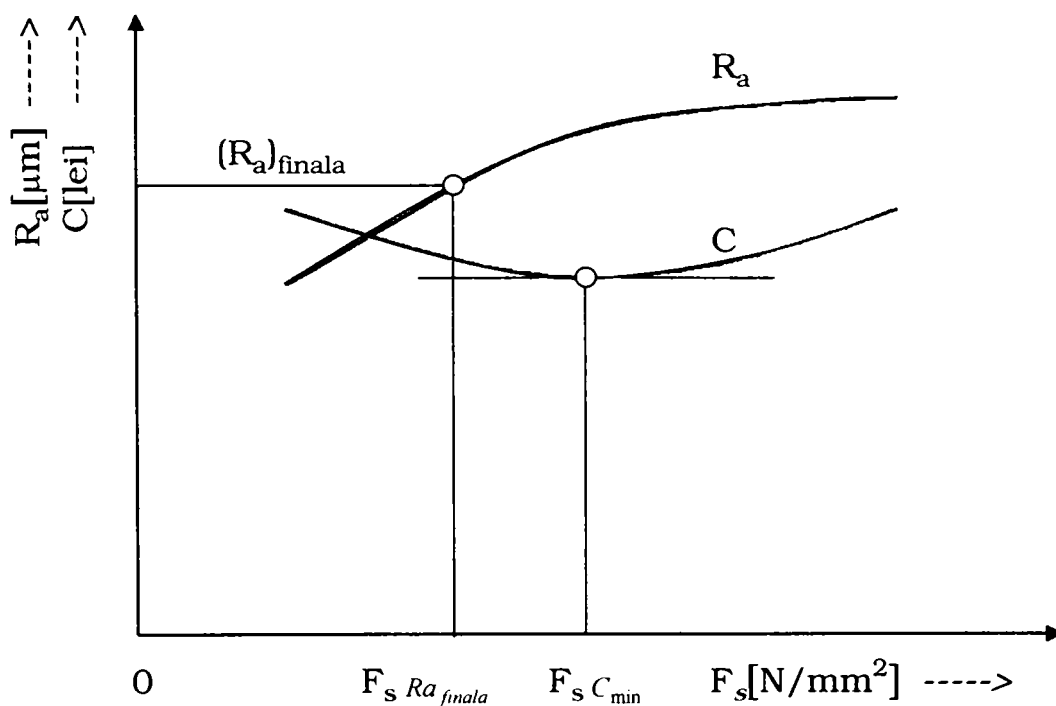
Întrucât rugozitatea finală obținută prin suprafinisare, depinde de valoarea forței specifice convenționale, după determinarea valorii  $F_s C_{\min}$ , aceasta se compară cu valoarea  $F_s Ra_{finala}$  rezultată din grafic, pentru care pot exista situațiile:

$$1) \quad F_s C_{\min} = F_s Ra_{finala} \quad (5.21)$$

când se obține costul minim al prelucrării și valoarea prescrisă a rugozității finale.

$$2) \quad F_s C_{\min} < F_s Ra_{finala} \quad (5.22)$$

caz în care se obține costul minim al prelucrării și o rugozitate mai mică decât cea prescrisă (figura 5.2.a).



**Figura 5.2.a** – Dependența costului operației și a rugozității, de forța specifică convențională

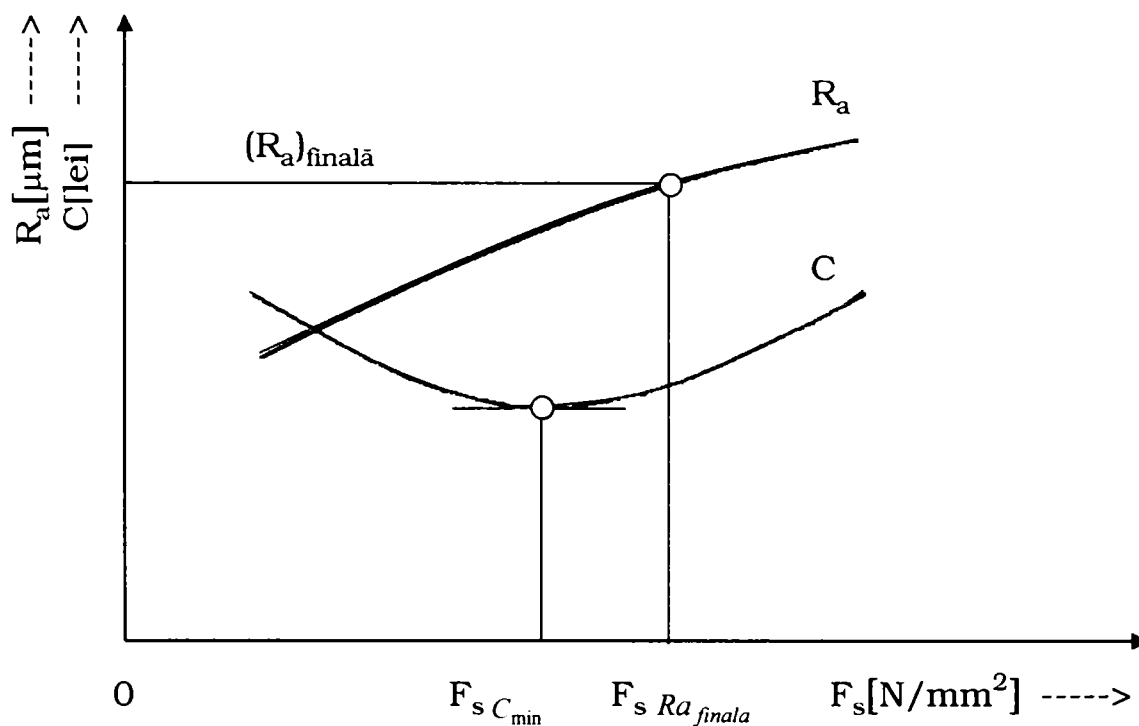
3)

$$F_s C_{\min} > F_s Ra_{finala}$$

(5.23)

când nu este posibil să se obțină costul minim al prelucrării, întrucât s-ar obține în final o rugozitate mai mare decât cea prescrisă.

În acest caz, pentru calculul valorii forței de referință se va adopta valoarea  $F_s Ra_{finala}$  (figura 5.2.b).



**Figura 5.2.b** – Dependența costului operației și a rugozității, de forța specifică convențională

Prin urmare, se va putea obține costul minim al prelucrării dacă este respectată relația:

$$F_s C_{\min} \leq F_s Ra_{finala}$$

(5.24)

După adoptarea valorii forței specifice convenționale și determinarea valorii de referință a forței de așchiere, este necesar să se verifice dacă puterea consumată la suprafinisare, nu depășește puterea acționării principale.



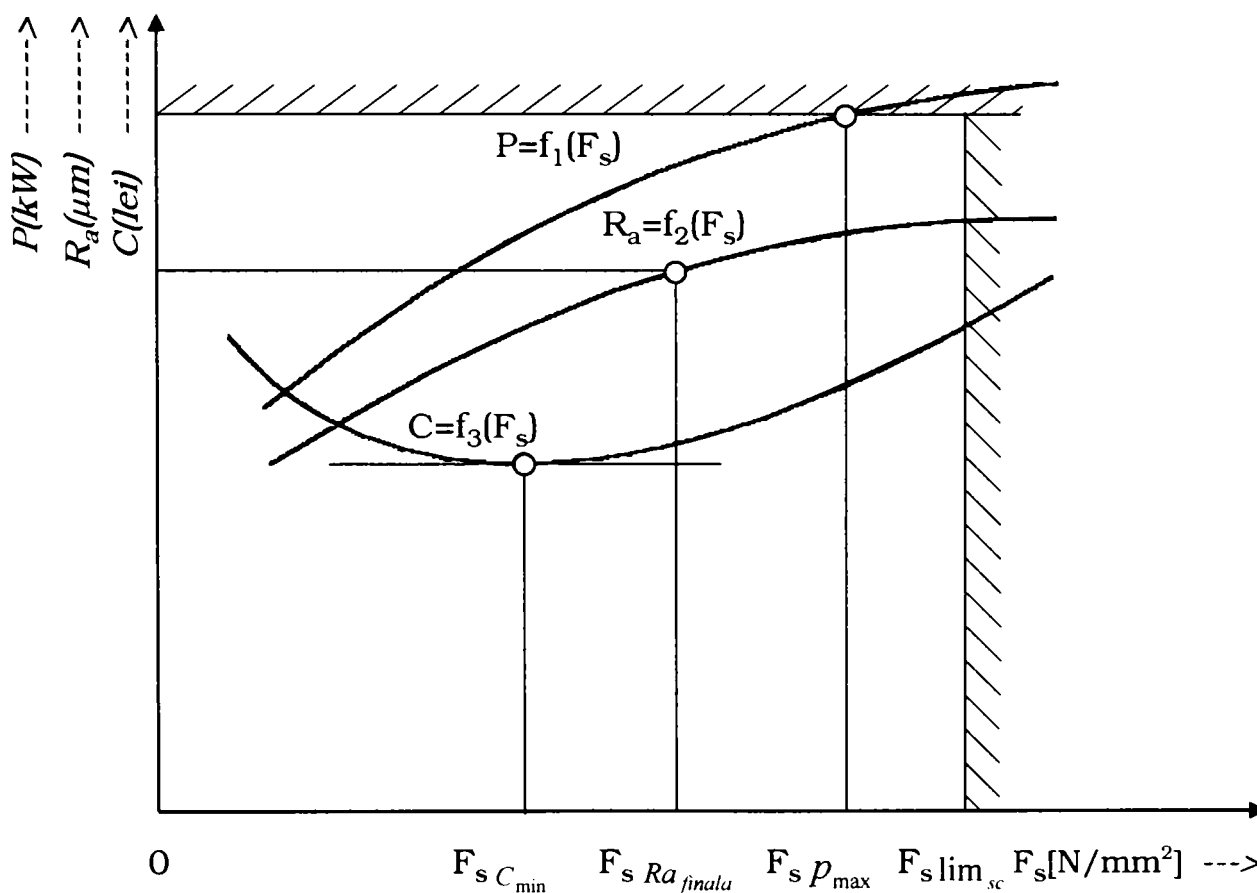
Trebuie deci să fie respectată și relația:

$$F_s C_{\min} \leq F_s P_{\max} \quad (5.25)$$

Există, de asemenea, o limită referitoare la sculă. Forțele de așchiere specifice, de valori ridicate, se obțin  $R_a$  valori mari ale presiunii de apăsare, care pot periclita integritatea barei abrazive. În general, valoarea limită a presiunii de apăsare se consideră  $p=0,8 \text{ N/mm}^2$ , pentru care corespunde o forță de așchiere specifică  $(F_s)_{\text{lim.sc.}}=0,28\text{N/mm}^2$ . Din acest punct de vedere, trebuie să fie respectată relația:

$$F_s C_{\min} < F_s \text{lim.sc.} \quad (5.26)$$

În figura 5.3 sunt redată grafic aceste limitări, la suprafinisarea cu o forță de așchiere constantă pentru costul minim al prelucrării.



**Figura 5.3** – Reprezentarea grafică a limitărilor, la suprafinisarea cu forța de așchiere constantă și costul minim al operației

#### 5.4. Metodica stabilirii regimului de lucru la suprafinisare în condițiile costului minim al operației

Față de situația existentă în prezent, la suprafinisarea cu forță de așchiere constantă, stabilirea regimului de lucru este mult simplificată, constând doar în determinarea valorii de referință a forței de așchiere și în stabilirea vitezei mișcării de rotație a piesei.

Plecând de la datele inițiale ale fiecărui caz tehnologic concret, se aleg caracteristicile barei abrazive și se determină viteza de rotație a piesei. Cu ajutorul relației (5.19) se determină valoarea forței specifice convenționale care asigură costul minim al operației de suprafinisare. Se verifică dacă această valoare respectă condițiile (5.24), (5.25) și (5.26). Ținând seama de aria suprafeței active a barei abrazive, se determină valoarea de referință a forței de așchiere -  $F_s$ ; se mai calculează timpul de prelucrare și avansul longitudinal al barei abrazive.

În cele ce urmează se prezintă sistematizat, modalitatea de stabilire a regimului de lucru la suprafinisarea cu forță de așchiere constantă, pentru costul minim al operației:

##### A) Date inițiale:

- dimensiunile suprafeței de prelucrat,  $(D \times L)$ ;
- rugozitatea inițială,  $(R_a)_{\text{inițială}}$ ;
- rugozitatea finală impusă,  $(R_a)_{\text{finală}}$ ;
- duritatea stratului superficial al piesei de prelucrat.

##### B) Se aleg conform celor stabilite:

- dimensiunile barei abrazive,  $(a \times l)$  în funcție de dimensiunile suprafeței de prelucrat;
- duritatea barei abrazive în funcție de duritatea stratului superficial al piesei prelucrate;

- granulația barei abrazive în funcție de rugozitatea finală impusă;
- viteza mișcării de rotație a piesei, astfel încât la frecvența maximă a mișcării oscilatorii, unghiul de atac să fie  $\alpha = 60^\circ$ .

C) *Se calculează:*

Forța specifică convențională, pentru costul minim al operației de suprafinisare, folosind relația (5.19).

Coeficienții  $K_1$ ,  $K_2$  și constantele  $m$ ,  $n$ ,  $C_{02}$  se aleg din tabelele corespunzătoare în funcție de datele inițiale ale prelucrării.

Costurile specifice  $q_1$  și  $q_2$  sunt sau pot fi cunoscute la orice uzină constructoare de mașini.

D) *Se verifică* dacă  $(F_s)_{C_{\min}}$  nu depășește valorile limită ale restricțiilor, utilizând condițiile date de relațiile (5.24), (5.25) și respectiv (5.26).

E) *Se calculează:*

- valoarea de referință a forței de așchiere:

$$(F_0)_{C_{\min}} = (F_s)_{C_{\min}} \cdot S \quad [\text{N}] \quad (\text{conform relației 4.9})$$

- timpul de bază,  $t_b$  [min] folosind relația (4.10).

- turația piesei, cu relația:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_r}{\pi \cdot D} \quad [\text{rot/min}] \quad (5.27)$$

- avansul longitudinal al barei abrazive:

$$f_l \quad [\text{mm/rot}] \quad (\text{conform relației 4.13})$$

$i$  – numărul de treceri, care se determină cu relația (4.16) care se rotunjește la cel mai apropiat număr par.

$n_t$  [rot] – numărul total de rotații executate de piesă în timpul prelucrării, stabilit conform relației (4.14):

În final, pentru a se putea începe prelucrarea trebuie cunoscute următoarele elemente:

- valoarea de referință a forței de așchiere:  $(F_0)_{C_{\min}}$  [N];
- timpul de prelucrare:  $t_b$  [min];
- turația piesei:  $n_p$  [rot/min];
- avansul longitudinal:  $f_l$  [mm/rot].

Prin reglarea lanțurilor cinematice ale mașinii, pentru realizarea valorilor calculate ale turației și avansului longitudinal și prin prelucrarea piesei în timpul prestabilit, cu o forță de așchiere menținută constantă la valoarea  $(F_0)_{C_{\min}}$ , se asigură obținerea rugozității finale prescrise și costul minim al operației de suprafinisare.

*Exemple de calcul:* Se vor considera piese din fabricația de motoare Diesel de la Uzina Constructoare de Mașini – Reșița, care necesită prelucrări de suprafinisare, determinându-se parametrii regimului pentru costul minim al operației.

*Exemplul 1:* Suprafinisarea buloanelor tacheților, de la motoare Diesel 12 LDA 28 de 2300 CP.

Date inițiale:

- dimensiunile suprafeței de prelucrat:  $\varnothing 50 \times 240$  mm;
- duritatea stratului superficial: 58 ... 65 HRC;
- rugozitatea inițială medie:  $R_a = 0,7 \mu\text{m}$ ;
- rugozitatea finală necesară:  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ .

Alegerea barei abrazive:

- dimensiuni: 20x20x60 mm;
- duritate: F;
- granulația: M14.

Viteza mișcării de rotație a piesei:  $V_r = 25$  m/min.

Se calculează valoarea forței specifice convenționale conform relației (5.19):

$$F_{sC_{\min}} = 0,085 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

unde:  $n = 1,9$   $K_1 = 1,12$

$m = 0,65$   $K_2 = 1,2$

$C_2 = 1,05$  (conform relației 4.20)

Din datele existente la Uzina Constructoare de Mașini-Reșița, rezultă valori ale costurilor specifice:

$q_1 = 784,66 \text{ lei/min}$  - costul unui minut de funcționare al utilajului;

$q_2 = 488,56 \text{ lei/gr}$  - cost specific al barei abrazive.

Comparând valoarea  $(F_s)_{C_{\min}} = 0,085 \text{ N/mm}^2$  cu valoarea forței specifice convenționale, care asigură obținerea rugozității finale, luată din tabelul 2, care are valoarea:

$$F_s Ra_{\text{finala}} = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

rezultă că se respectă relația (5.24).

Se consideră că acționarea pentru mișcarea de rotație a piesei dispune de putere suficientă.

Valoarea de referință a forței de așchiere va fi:

$$F_0 C_{\min} = 10 \text{ N} \quad (\text{conform relației 4.9})$$

Lucrându-se deci cu forța de așchiere constantă având valoarea de 10 N, se va obține costul minim al prelucrării și o calitate a suprafeței prelucrate superioară celei prescrise.

Calculul timpului de prelucrare conform relației (4.10):

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{3,34}{10^{0,65}} = 3,7 \text{ min}$$

în care:

$$C_1 = 3,34 \quad (\text{conform relației 4.11})$$

$$K_L = 4 \quad (\text{conform relației 4.12})$$

Turația piesei prelucrate conform relației (5.27) va fi:

$$n_p = 159 \text{ rot/min}$$

Calculul avansului longitudinal conform relației (4.13) va fi:

$$f_1 = 1,83 \text{ mm/rot}$$

$$n_t = 590 \text{ rot} \quad (\text{conform relației 4.14})$$

$$i_t = 6,5 \quad (\text{conform relației 4.16})$$

$i_t$  – numărul de treceri teoretic;

Se rotunjește la valoarea:  $i = 6$ .

Deci se va lucra cu următoarele valori ale parametrilor regimului:

$$F_0 = 10 \text{ N}$$

$$t_b = 3,7 \text{ min}$$

$$n_p = 159 \text{ rot/min}$$

$$f_l = 1,83 \text{ mm/rot}$$

Costul minim al operației, considerând  $t_a = 2 \text{ min}$  și  $C_{1p} = 28.248 \text{ lei}$ , ( $C_{1p}$  - cheltuieli de pregătire - încheiere - pe piesă, SDV, salariu), conform relației (5.20) va fi:

$$C_{\min} = 34.674 \text{ lei}$$

Pentru comparație, considerăm și cazul prelucrării cu forța specifică convențională luată din tabelul 2, care asigură prelucrarea la rugozitatea finală prescrisă:

$$(F_s)_{Ra_{fn}} = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

În acest caz rezultă conform relației (4.9):

$$F_0 = (F_s)_{Ra_{fn}} \cdot S = 0,1 \cdot 12 = 1,2 \text{ N}$$

Timpul de bază conform relației (4.10) va fi:

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{3,34}{1,2^{0,65}} = 3,34 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 3,34$  (conform relației 4.11)

Rezultă costul operației, calculat cu relația (5.11):

$$C = 34.996 \text{ lei}$$

Rezultă deci că, în ultimul caz timpul de prelucrare este mai mic, obținându-se o capacitate de producție mai mare, dar și costul operației este mai ridicat.

*Exemplul 2:* Suprafinisarea bolțurilor pistoanelor de la motoarele Diesel 6 și 12 LDA 28.

Date inițiale:

- dimensiunile suprafeței de prelucrat:  $\varnothing 100 \times 220$  mm;
- duritatea stratului superficial: 58 ... 65 HRC;
- rugozitatea inițială:  $R_a = 0,9 \mu\text{m}$ ;
- rugozitatea finală impusă:  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ .

Alegerea barei abrazive:

- dimensiuni: 30x30x60 mm;
- duritate: F;
- granulația: M14.

Viteza mișcării de rotație a piesei:  $V_r = 25$  m/min.

Calculul forței specifice convenționale pentru costul minim al operației conform relației (5.19):

$$(F_s)_{C_{\min}} = 0,07 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

unde:

$$n = 1,9 \quad K_1 = 1,12$$

$$m = 0,65 \quad K_2 = 1,2$$

$$C_2 = 1,57 \text{ (conform relației 4.20)}$$

Din datele existente la Uzina Constructoare de Mașini-Reșița, rezultă valori ale costurilor specifice:

$$q_1 = 784,66 \text{ lei/min}$$

$$q_2 = 488,56 \text{ lei/gr}$$



Din tabelul 2 rezultă că rugozitatea finală prescrisă se poate obține cu  $(F_s)_{Ra_{fin}} = 0,1 \text{ N/mm}^2$ , deci adoptând valoarea  $(F_s)_{C_{\min}} = 0,07 \text{ N/mm}^2$  se va asigura costul minim al operației și o calitate a suprafeței prelucrate superioară celei prevăzute în desenul piesei.

Forța de referință, conform relației (4.9) va avea valoarea:

$$F_{0_{C_{\min}}} = F_s C_{\min} \cdot S = 0,07 \cdot 180 = 12,5 \text{ N}$$

Calculul timpului de prelucrare, conform relației (4.10):

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{6,64}{12,5^{0,65}} = 9 \text{ min}$$

în care:  $C_1 = 6,64$  (conform relației 4.11)

iar:  $K_L = 3,66$  (conform relației 4.12)

Calculul turației piesei cu relația (5.27):

$$n_p = 80 \text{ rot/min}$$

Calculul avansului longitudinal cu relația (4.13):

$$f_1 = 2,85 \text{ mm/rot}$$

în care:  $n_t = 673 \text{ rot}$  (conform relației 4.14)

$i_t = 12,6$  (conform relației 4.16)

Se consideră:  $i = 12$ .

Parametrii regimului de prelucrare cu costul minim al operației vor avea deci valorile:

$$F_0 = 12,5 \text{ N}$$

$$t_b = 9,5 \text{ min}$$

$$n_p = 75 \text{ rot/min}$$

$$f_1 = 2,7 \text{ mm/rot}$$

Considerând  $t_a = 3$  min și  $C_{1p} = 28.248$  lei, rezultă costul minim conform relației (5.20):

$$C_{\min} = 42.154 \text{ lei}$$

Luând în considerare și cazul prelucrării cu forța specifică convențională care asigură rugozitatea finală prescrisă, conform tabelului nr. 2, rezultă (conform relației 4.9):

$$F_0 = (F_s)_{Ra_{fin}} \cdot S = 0,1 \cdot 180 = 18 \text{ N}$$

Timpul de prelucrare va fi:

$$t_b = 6,64 \text{ min} \quad (\text{conform relației 4.10})$$

unde:  $C_1 = 7$  (conform relației 4.11)

În acest caz, conform relației (5.11), costul operației va fi:

$$C = 43.479 \text{ lei}$$

Rezultă deci că și în acest caz tehnologic, dacă se lucrează cu  $(F_s) C_{\min}$ , se obține cel mai redus cost al prelucrării, dar un timp de prelucrare mai ridicat.

*Exemplul 3:* Suprafinisarea ventilelor de admisie și evacuare ale motoarelor Diesel 6 și 12 LDA 28 de 2300 și 1250 CP.

Date inițiale:

- dimensiunile suprafeței de prelucrat:  $\varnothing 25 \times 210$  mm;
- duritatea stratului superficial: 30 ... 35 HRC;
- rugozitatea inițială:  $R_a = 0,5 \mu\text{m}$ ;
- rugozitatea finală impusă:  $R_a = 0,06 \mu\text{m}$ .

Alegerea barei abrazive:

- dimensiuni: 20x20x60 mm;
- duritate: H;
- granulația: M7.

Viteza mișcării de rotație a piesei:  $V_r = 25$  m/min.

Se calculează cu relația (5.19) forța specifică convențională pentru costul minim al operației:

$$(F_s)_{C_{\min}} = 1,04 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

unde:  $n = 1,9$                        $K_1 = 1,12$                        $q_1 = 784,66$  lei/min

$m = 0,65$                        $K_2 = 1,2$                        $q_2 = 488,56$  lei/gr

$$C_2 = 0,72 \quad (\text{conform relației 4.20})$$

Comparând valoarea  $(F_s)_{C_{\min}} = 1,04 \text{ N/mm}^2$  cu valoarea  $(F_s)_{Ra_{\text{fin}}} = 0,1 \text{ N/mm}^2$  care asigură rugozitatea finală prescrisă, rezultă că adoptând regimul de prelucrare pentru costul minim al operației, se va obține în final o rugozitate mai mare decât cea prevăzută în desen. În acest caz, valoarea de referință a forței de așchiere trebuie calculată cu  $(F_s)_{Ra_{\text{fin}}}$ , conform relației (4.9) obținându-se:

$$F_0 = (F_s)_{Ra_{\text{fin}}} \cdot S = 0,1 \cdot 120 = 12 \text{ N}$$

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{2,22}{12^{0,65}} = 2,16 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 2,22$                       (conform relației 4.11)

$K_L = 3,5$                       (conform relației 4.12)

Calculul turației, conform relației (5.27):

$$n_p = 318 \text{ rot/min}$$

Calculul avansului longitudinal, conform relației (4.13):

$$f_l = 2,18 \text{ mm/rot}$$

în care:  $n_t = 688 \text{ rot/min}$  (conform relației 4.14)

$$i_t = 9,17 \quad (\text{conform relației 4.16})$$

Se consideră:  $i = 10$ .

Parametrii regimului de lucru vor avea valorile:

$$F_0 = 12 \text{ N}$$

$$t_b = 2,16 \text{ min}$$

$$n_p = 318 \text{ rot/min}$$

$$f_l = 2,18 \text{ mm/rot}$$

Costul operației, calculat cu relația (5.11), considerând  $t_a = 2 \text{ min}$  și

$C_{1p} = 28.248 \text{ lei}$ , va fi:

$$C = 32.568 \text{ lei}$$

unde:  $C_2 = 0,47$  (conform relației 4.20)

Dacă s-ar lucra cu valoarea forței specifice care asigură costul minim al operației, ar rezulta:  $t_b = 2,16 \text{ min}$ , calculat cu relația (4.10).

în care:  $C_1 = 2,22$  (conform relației 4.11)

$$C_{\min} = 32.531 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.20})$$

unde:  $C_2 = 0,47$  (conform relației 4.20)

Forța specifică convențională având valoarea mai mare, rezultă un timp de prelucrare mai mic și costul minim al prelucrării, dar rugozitatea finală va avea valoarea  $R_a = 0,075 \mu\text{m}$ , mai mare decât cea prevăzută în desenul piesei. Dacă se mărește viteza de rotație a piesei până la 50 m/min, după cum rezultă din graficul figurii 4.19, se va obține rugozitatea prescrisă  $R_a = 0,06 \mu\text{m}$ . În acest caz, timpul de prelucrare și costul operației vor avea următoarele valori (conform relației 4.10):

$$t_b = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{2,22}{0,1^{0,65}} = 1,45 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 2,22$  (conform relației 4.11)

$$C = 32.570 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 0,51$  (conform relației 4.20)

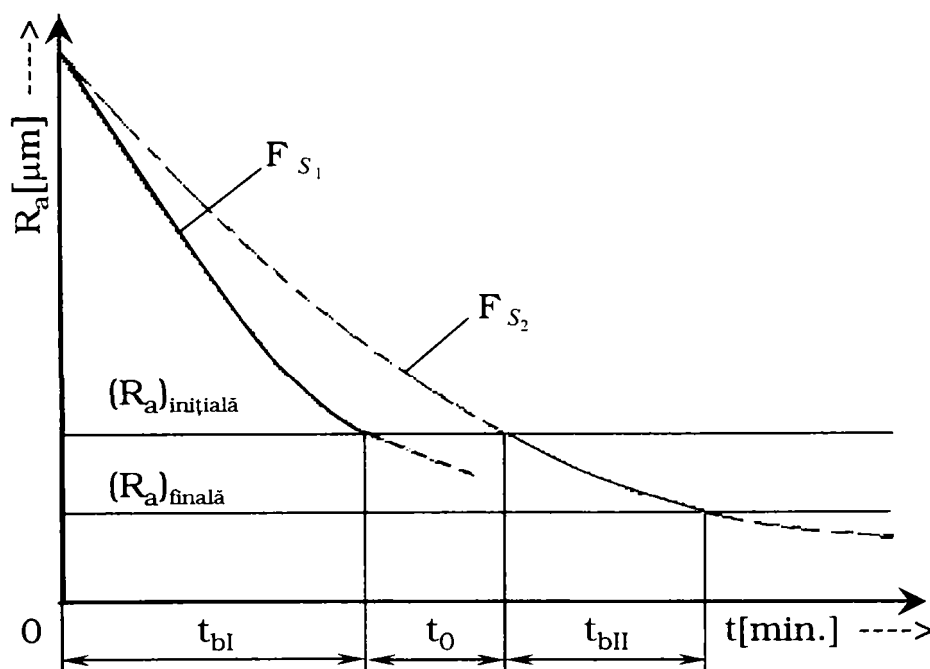
Rezultă deci un cost mai ridicat al prelucrării, dar un timp de prelucrare mai redus decât în cazul prelucrării cu  $(F_s)Ra_{fin}$ .

## 6. Stabilirea regimului de lucru la suprafinisarea în două faze

Plecând de la faptul că forțele specifice convenționale de valori mari, asigură timpi de prelucrare reduși, dar nu permit întotdeauna atingerea rugozității finale prescrise, în prezentul capitol se analizează posibilitatea suprafinisării în două faze. În prima fază, rugozitatea poate fi redusă la valori apropiate de rugozitatea finală, lucrându-se cu valori ridicate ale forței specifice convenționale, într-un timp de prelucrare redus. În a doua fază, se obține rugozitatea finală prescrisă, lucrându-se cu valori ale forței specifice convenționale reduse. Aceasta se poate realiza cu un singur tip de bară abrazivă, sau cu două tipuri de bare abrazive.

### 6.1. Suprafinisarea în două faze cu un singur tip de bară abrazivă

În figura 6.1 este reprezentat grafic, cazul suprafinisării în două faze, cu un singur tip de bară abrazivă.



**Figura 6.1** – Suprafinisarea în două faze cu o bară abrazivă

Dacă prelucrarea s-ar efectua cu o singură valoare  $F_{s_2}$  a forței specifice convenționale, care permite atingerea rugozității finale  $(R_a)_{fin}$ , ar rezulta timpul de prelucrare  $t$ . Realizând prelucrarea în două faze, timpul total de prelucrare  $t_{b1}+t_{b2}$ , este mai mic decât timpul  $t$  cu valoarea  $t_0$ .

În cele ce urmează, se analizează posibilitatea de suprafinisare în două faze, pentru câteva cazuri tehnologice concrete.

#### *A) Suprafinisarea în două faze a bulonului culbutorilor*

Datele inițiale sunt cele prezentate în capitolul 4.6. Se utilizează o bară abrazivă cu granulația M14, duritatea F și dimensiunile 20x20x60mm.

*Faza I:* se lucrează cu  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ , cu care se poate obține o valoare intermediară a rugozității  $R_a = 0,15 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază calculat cu relația (4.10):

$$t_{bl} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{2,71}{0,2^{0,65}} = 1,74 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 2,71$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în prima fază va fi:

$$C_1 = 20.487 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

în care:  $C_2 = 1,05$  (conform relației 4.20)

*Faza II:* Începând prelucrarea de la o rugozitate  $R_a = 0,15 \mu\text{m}$ , pentru a ajunge la rugozitatea finală  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$  se lucrează cu  $F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bII} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{1,23}{0,1^{0,65}} = 1,23 \text{ min}$$

$$C_1 = 1,23 \quad (\text{conform relației 4.11})$$

Costul prelucrării în a doua fază va fi:

$$C_{II} = 16.840 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 1,05 \quad (\text{conform relației 4.20})$

Cheltuielile de pregătire și timpul auxiliar, sau distribuit în mod egal celor două faze de prelucrare.

Timpul de bază total al operației de suprafinisare va fi:

$$t_b = t_{bI} + t_{bII} = 1,74 + 1,23 = 2,97 \text{ min}$$

Costul operației la suprafinisare în două faze:

$$C = C_1 + C_{II} = 20.487 + 16.840 = 37.327 \text{ lei}$$

Rezultă deci un timp prelucrare mai mic decât la prelucrarea cu o singură valoare a forței specifice convenționale, dar costul operației este considerabil mai ridicat.

### *B) Suprafinisarea în două faze a bolțului pistonului*

Bara abrazivă utilizată are granulația M14, duritatea F și dimensiunile 30x30x60 mm.

*Faza I:* Se lucrează cu  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ , obținându-se o valoare intermediară a rugozității  $R_a = 0,15 \mu\text{m}$ .



Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bI} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{5,6}{0,2^{0,65}} = 3,6 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 5,6$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în prima fază va fi:

$$C_I = 30.396 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 1,57$  (conform relației 4.20)

*Faza II:* Se lucrează cu  $F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$ , prin care se asigură rugozitatea finală  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bII} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{2,4}{0,1^{0,65}} = 2,4 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 2,4$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în a doua fază va fi:

$$C_{II} = 20.199 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 1,57$  (conform relației 4.20)

Timpul de bază total al operației de suprafinisare va fi:

$$t_b = t_{bI} + t_{bII} = 3,6 + 2,4 = 6,0 \text{ min}$$

Costul operației la suprafinisare în două faze:

$$C = C_I + C_{II} = 30.396 + 20.199 = 50.595 \text{ lei}$$

Rezultă deci un timp de prelucrare mai mic și un cost mai ridicat al operației decât la prelucrarea cu o singură valoare a lui  $F_s$ .

C) *Suprafinisarea în două faze a ventilelor de admisie și evacuare desen D 201 - 100*

Se utilizează bara abrazivă de granulație M7, duritate H și dimensiuni: 13x13x60 mm.

*Faza I:* Se lucrează cu  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ , obținându-se o valoare intermediară a rugozității  $R_a = 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bl} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{1,33}{0,2^{0,65}} = 0,85 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 1,33$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în prima fază va fi:

$$C_1 = 16.618 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 0,47$  (conform relației 4.20)

*Faza II:* Se lucrează cu  $F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$ , prin care se obține rugozitatea finală prescrisă  $R_a = 0,06 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bII} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{0,54}{0,1^{0,65}} = 0,54 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 0,54$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în a doua fază va fi:

$$C_{II} = 15.626 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:

$$C_2 = 0,47$$

(conform relației 4.20)

Timpul de bază total al operației de suprafinisare va fi:

$$t_b = t_{bI} + t_{bII} = 0,85 + 0,54 = 1,39 \text{ min}$$

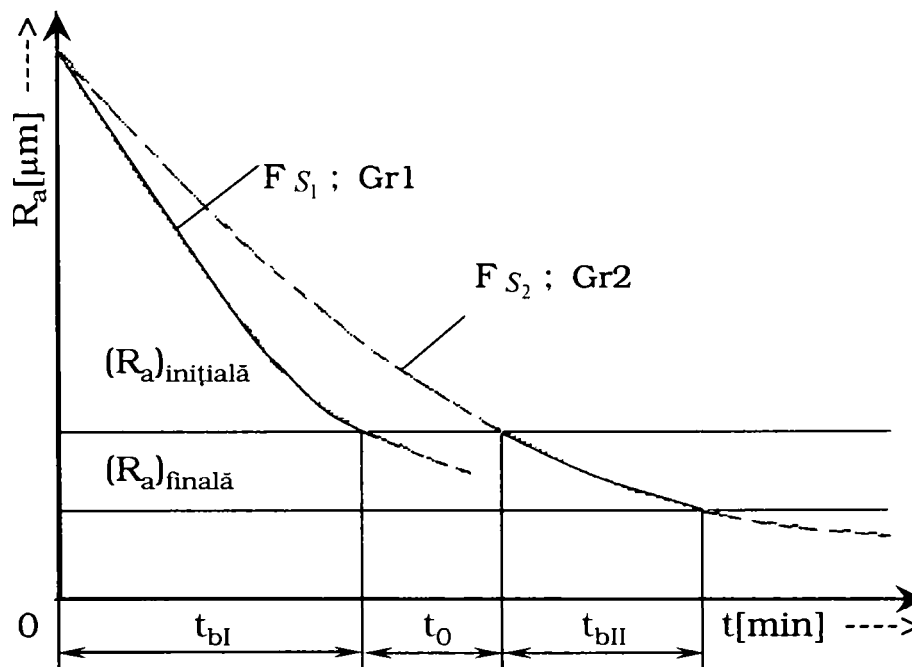
Costul operației la suprafinisare în două faze:

$$C = C_I + C_{II} = 16,618 + 15,626 = 32,244 \text{ lei}$$

Rezultă că și în acest caz timpul de prelucrare este mai redus, iar costul operației mai ridicat decât în cazul prelucrării într-o fază, cu o singură valoare a forței specifice convenționale.

### 6.2. Suprafinisarea în două faze cu bare abrazive diferite

În figura 6.2 este reprezentat grafic, cazul suprafinisării în două faze, cu bare abrazive de granulație diferită.



**Figura 6.2** – Suprafinisarea în două faze cu bare abrazive de granulații diferite

În prima fază de prelucrare se poate utiliza o bară abrazivă de granulație mai mare, care asigură o intensitate mai mare procesului de microașchiere și reducerea timpului. În a doua fază, este necesar să se utilizeze o bară abrazivă a cărei granulație să permită obținerea rugozității finale.

Reluând aceleași cazuri tehnologice concrete, se va analiza timpul de prelucrare și costul operației de suprafinisare, în două faze, cu bare abrazive de granulație diferită.

*A) Suprafinisarea cu două bare abrazive a bulonului culbutorilor*

*Faza I:* Bara abrazivă cu granulația M28, duritatea F, dimensiuni 20x20x60 mm.

Forța specifică convențională:  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ .

Rugozitatea intermediară:  $R_a = 0,25 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va avea valoarea:

$$t_{bl} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{1,48}{0,2^{0,65}} = 0,95 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 1,48$  (conform relației 4.11)

Costul primei faze de prelucrare va fi:

$$C_1 = 18.431 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 1,26$  (conform relației 4.20)

*Faza II:* Bara abrazivă cu granulația M14, duritate F.

Forța specifică convențională:  $F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$ .

Rugozitatea finală:  $R_a = 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bII} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{1,55}{0,1^{0,65}} = 1,55 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 1,55$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în a doua fază va fi:

$$C_{II} = 17.319 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 1,05$  (conform relației 4.20)

Timpul de bază total al operației de suprafinisare va fi:

$$t_b = t_{bI} + t_{bII} = 0,95 + 1,55 = 2,50 \text{ min}$$

Costul operației la suprafinisare în două faze:

$$C = C_I + C_{II} = 18.431 + 17.319 = 35.750 \text{ lei}$$

Timpul auxiliar și cheltuielile de pregătire s-au repartizat în mod egal celor două faze de prelucrare. S-a considerat că schimbarea barei se efectuează automat, într-un timp de ordinul câtorva secunde, deci neglijabil.

### *B) Suprafinisarea cu două bare abrazive a bolțului pistonului*

*Faza I:* Bara abrazivă cu granulația M28, duritatea F, dimensiuni 30x30x60 mm.

Forța specifică convențională:  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ .

Rugozitatea intermediară:  $R_a = 0,25 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va avea valoarea:

$$t_{bI} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{3,04}{0,2^{0,65}} = 1,95 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 3,04$  (conform relației 4.11)

Costul primei faze de prelucrare va fi:

$$C_1 = 24.715 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 1,89$  (conform relației 4.20)

*Faza II:* Bara abrazivă cu granulația M14, duritate F și dimensiuni 30x30x60.

Forța specifică convențională:  $F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$ .

Rugozitatea finală:  $R_a = 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bII} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{3,01}{0,1^{0,65}} = 3,01 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 3,01$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în a doua fază va fi:

$$C_{II} = 21.297 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 1,57$  (conform relației 4.20)

Timpul de bază total al operației de suprafinisare va fi:

$$t_b = t_{bI} + t_{bII} = 1,95 + 3,01 = 4,96 \text{ min}$$

Costul operației la suprafinisare în două faze:

$$C = C_1 + C_{II} = 24.715 + 21.297 = 46.012 \text{ lei}$$

C) *Suprafinisarea cu două bare abrazive a ventilelor de admisie și de evacuare*

*Faza I:* Bara abrazivă cu granulația M14, duritatea H, dimensiuni 13x13x60 mm.

Forța specifică convențională:  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ .

Rugozitatea intermediară:  $R_a = 0,15 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va avea valoarea:

$$t_{bl} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{0,81}{0,2^{0,65}} = 0,52 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 0,81$  (conform relației 4.11)

Costul primei faze de prelucrare va fi:

$$C_1 = 16.133 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 0,6$  (conform relației 4.20)

*Faza II:* Bara abrazivă cu granulația M7, duritate H și dimensiuni 13x13x60.

Forța specifică convențională:  $F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$ .

Rugozitatea finală:  $R_a = 0,06 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bII} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{0,7}{0,1^{0,65}} = 0,7 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 0,7$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în a doua fază va fi:

$$C_{II} = 15.810 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

unde:  $C_2 = 0,47$  (conform relației 4.20)

Timpul de bază total al operației de suprafinisare va fi:

$$t_b = t_{bI} + t_{bII} = 0,52 + 0,7 = 1,22 \text{ min}$$

Costul operației la suprafinisare în două faze:

$$C = C_I + C_{II} = 16.133 + 15.810 = 31.943 \text{ lei}$$

Din cazurile tehnologice concrete prezentate, rezultă că prin suprafinisarea în două faze, cu bare abrazive de granulație diferită, rezultă reduceri ale timpului de bază și ale costului operației, față de suprafinisarea în două faze cu o singură bară abrazivă.

### **6.3. Suprafinisarea în două faze cu viteze de rotație diferite**

Având în vedere faptul că rugozitatea finală a suprafețelor suprafinisate, se reduce cu creșterea vitezei de rotație a piesei, s-a analizat și posibilitatea utilizării unor forțe specifice convenționale de valoare mai mare, care asigură un regim de microașchiere mai intens și mărirea vitezei de rotație în a doua fază a prelucrării pentru obținerea rugozității finale prescrise. În acest scop se consideră câteva cazuri concrete.

*A) Suprafinisarea în două faze a bulonului tacheților, cu viteze de rotație diferite*

Bara abrazivă: granulație M14, duritate F, dimensiuni 20x20x60mm.

*Faza I:* Se lucrează cu  $F_s = 0,15 \text{ N/mm}^2$  și  $V_r = 25 \text{ m/min}$ , obținându-se o rugozitate intermediară:  $R_a = 0,125 \text{ } \mu\text{m}$ , conform graficului figurii 4.14.



Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bI} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{3,0}{0,2^{0,65}} = 2,3 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 3,0$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în prima fază rezultă:

$$C_1 = 20.094 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

în care:  $C_2 = 1,05$  (conform relației 4.20)

*Faza II:* Lucrându-se cu aceeași bară abrazivă și aceeași valoare a forței specifice  $F_s = 0,15 \text{ N/mm}^2$ , se mărește viteza de rotație a piesei la valoarea  $V_r = 80 \text{ m/min}$ , obținându-se conform graficului figurii 4.14, rugozitatea finală  $R_a = 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bII} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{1,2}{0,15^{0,65}} = 0,93 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 1,2$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în a doua fază va fi:

$$C_{II} = 17.342 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

în care:  $C_2 = 1,31$  (conform relației 4.20)

Timpul de bază total al operației va fi:

$$t_b = t_{bI} + t_{bII} = 2,3 + 0,93 = 3,23 \text{ min}$$

Costul operației rezultă:

$$C = C_I + C_{II} = 20.094 + 17.342 = 37.436 \text{ lei}$$

*B) Suprafinisarea în două faze a bolțului pistonului, cu viteze de rotație diferite*

Bara abrazivă: granulație M14, duritate F, dimensiuni 30x30x60mm.

*Faza I:* Se lucrează cu  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$  și  $V_r = 25 \text{ m/min}$ , conform graficului din figura 4.14 se poate obține o rugozitate intermediară  $R_a = 0,15 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{b_I} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{5,6}{0,2^{0,65}} = 3,6 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 5,6$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în prima fază rezultă:

$$C_1 = 30.162 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

în care:  $C_2 = 1,57$  (conform relației 4.20)

*Faza II:* Utilizând aceeași bară abrazivă și aceeași valoare a forței specifice  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$ , se mărește viteza de rotație a piesei la valoarea:  $V_r = 100 \text{ m/min}$ , prin care se poate obține rugozitatea  $R_a = 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ .

Timpul de bază, calculat cu relația (4.10) va fi:

$$t_{bII} = \frac{C_1}{F_s^m} = \frac{2,44}{0,1^{0,65}} = 1,56 \text{ min}$$

unde:  $C_1 = 2,44$  (conform relației 4.11)

Costul prelucrării în a doua fază va fi:

$$C_{II} = 24.459 \text{ lei} \quad (\text{conform relației 5.11})$$

în care:  $C_2 = 2,12$  (conform relației 4.20)

Timpul de bază total al operației va fi:

$$t_b = t_{bI} + t_{bII} = 3,6 + 1,56 = 5,16 \text{ min}$$

Costul operației rezultă:

$$C = C_I + C_{II} = 30.162 + 24.459 = 54.621 \text{ lei}$$

Din analiza acestor două cazuri tehnologice, precum și al suprafinisării ventilelor la admisie și evacuare, tratat anterior, rezultă că prin suprafinisarea în două faze cu viteză mărită în faza a doua, se obțin timpi de prelucrare reduși, dar costul total al operației este totuși mai ridicat față de prelucrarea cu  $F_s C_{\min}$ .

Această posibilitate de suprafinisare este indicată pentru obținerea unor rugozități foarte fine, atunci când nu se dispune de bare abrazive cu cele mai mici granulații.

În fișele sintetice care urmează, sunt redate concentrat, posibilitățile de suprafinisare pentru cele trei cazuri tehnologice considerate, cu timpii de bază și costurile pentru fiecare posibilitate.

Piesa: Bulonul tacheților (figura 6.3)

Motor Diesel 12LDA28

D te inițiale:

- duritatea piesei 58 ... 65 HRC
- rugozitatea inițială:  $R_a = 0,7 \mu\text{m}$
- rugozitatea finală:  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$

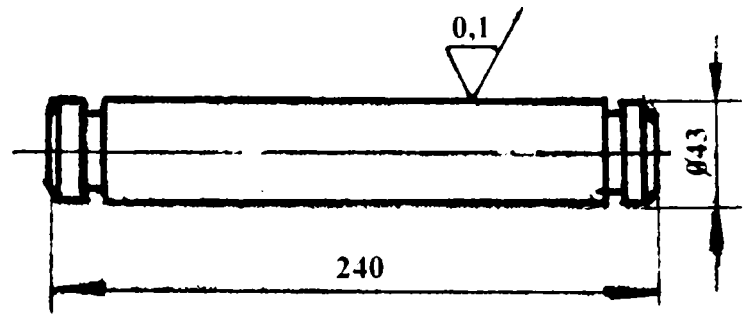


Figura 6.3

A) Suprafinisare pentru obținerea rugozității finale prescrise.

(figura 6.3.a)

$$F_s = (F_s)_{R_a \text{ fin}}$$

Granulație: M14

$$t_b = 3,4 \text{ min}$$

$$C = 34.996 \text{ lei}$$

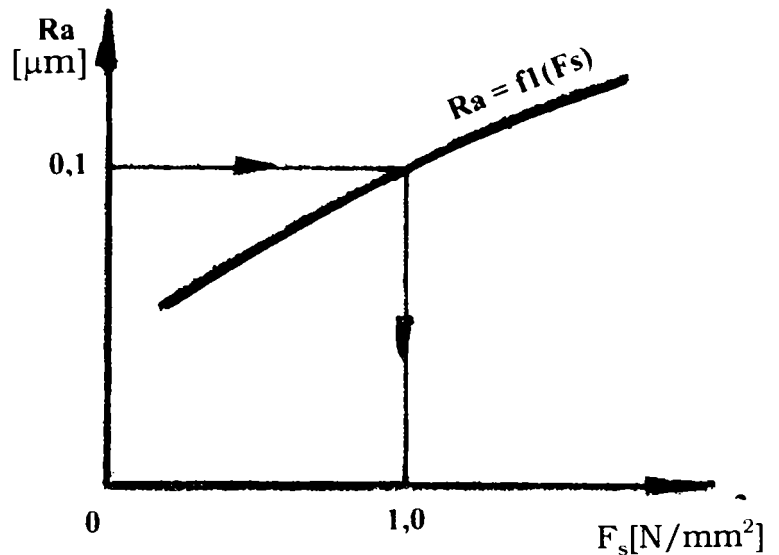


Figura 6.3.a

B) Suprafinisarea în două faze

cu o bară abrazivă. (figura 6.3.b)

$$I - F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$$

$$II - F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

Granulația: M14

$$\text{Faza I: } t_b = 1,74 \text{ min}$$

$$C = 20.487 \text{ lei}$$

$$\text{Faza II: } t_b = 1,25 \text{ min}$$

$$C = 16.840 \text{ lei}$$

$$\text{Total: } t_b = 2,99 \text{ min}$$

$$C = 37.327 \text{ lei}$$

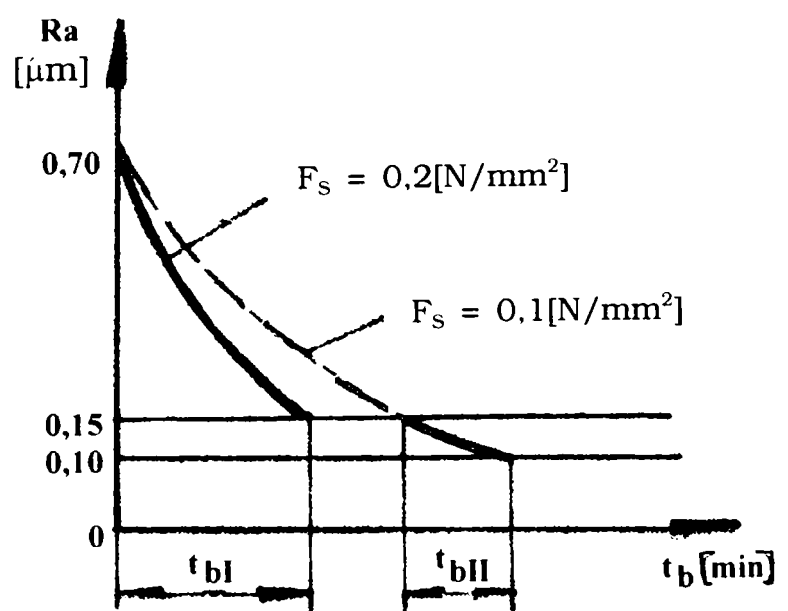


Figura 6.3.b

C) Suprafinisarea în două faze

cu două bare abrazive de

granulație diferită. (figura 6.3.c)

I -  $F_s = 0,2\text{N/mm}^2$

II -  $F_s = 0,1\text{N/mm}^2$

Granulație: M28

Granulație: M14

Faza I:  $t_b = 0,95 \text{ min}$

$C = 18.431 \text{ lei}$

Faza II:  $t_b = 1,55 \text{ min}$

$C = 17.319 \text{ lei}$

Total:  $t_b = 2,50 \text{ min}$

$C = 35.750 \text{ lei}$

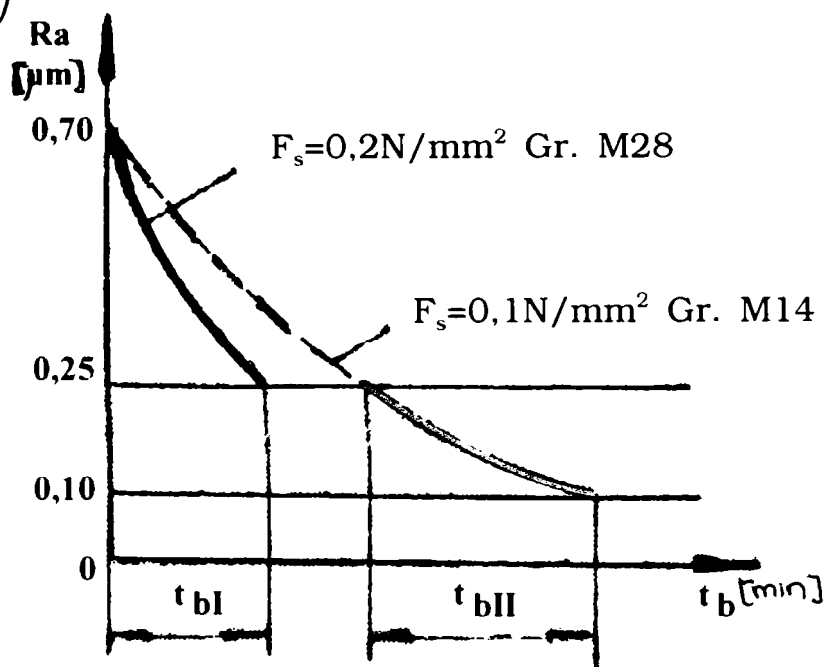


Figura 6.3.c

D) Suprafinisarea în două faze

cu viteze de rotație diferite.

(figura 6.3.d)

I -  $V_r = 25 \text{ m/min}$

II -  $V_r = 80 \text{ m/min}$

Granulație: M14

Faza I:  $t_b = 2,30 \text{ min}$

$C = 20.094 \text{ lei}$

Faza II:  $t_b = 0,93 \text{ min}$

$C = 17.342 \text{ lei}$

Total:  $t_b = 3,23 \text{ min}$

$C = 37.436 \text{ lei}$

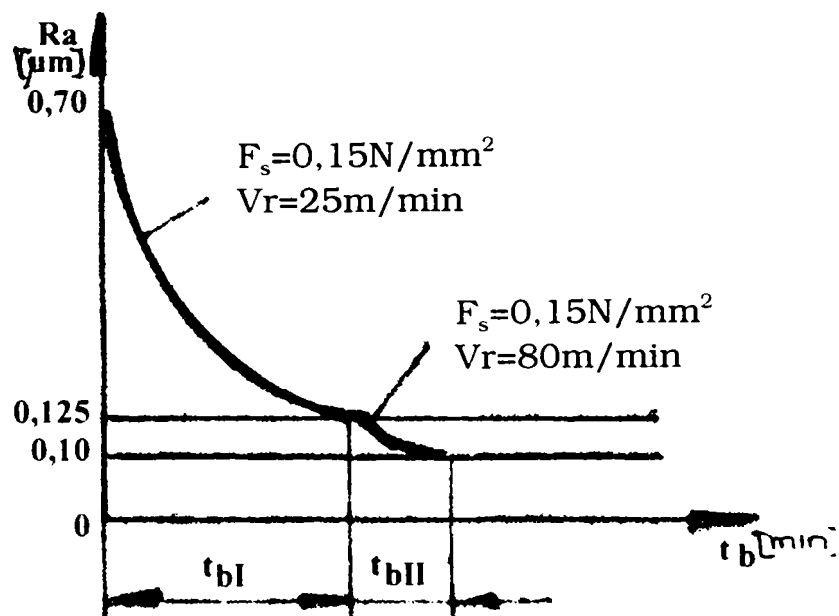


Figura 6.3.d

E) *Suprafinisarea pentru costul minim al operației.*

(figura 6.3.e)

$$F_s = 0,85 \text{ N/mm}^2$$

Granulație: M14

$$t_b = 3,6 \text{ min}$$

$$C_{\min} = 34.674 \text{ lei}$$

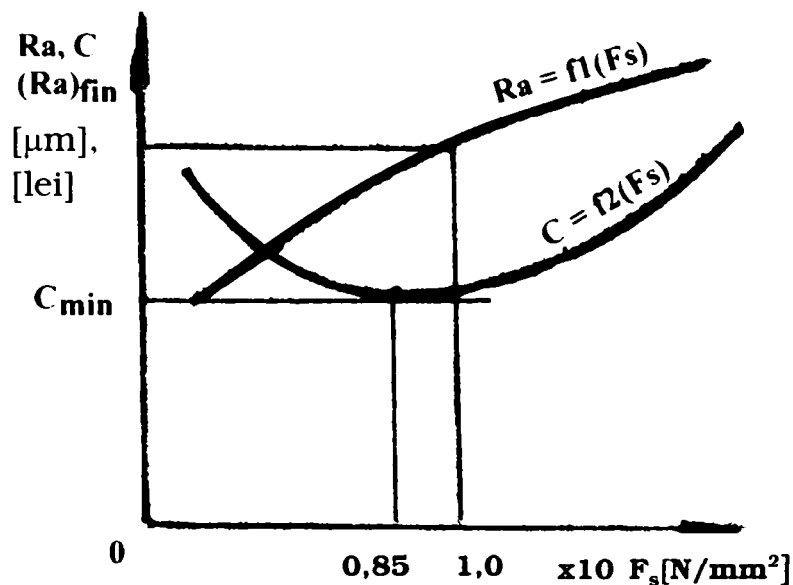


Figura 6.3.e

Piesa: Bolțul pistonului – desen D301-88.

Motor Diesel 12LDA28 (figura 6.4)

Date inițiale:

- duritatea piesei 58 ... 65 HRC
- rugozitatea inițială:  $R_a = 0,9 \mu\text{m}$
- rugozitatea finală:  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$

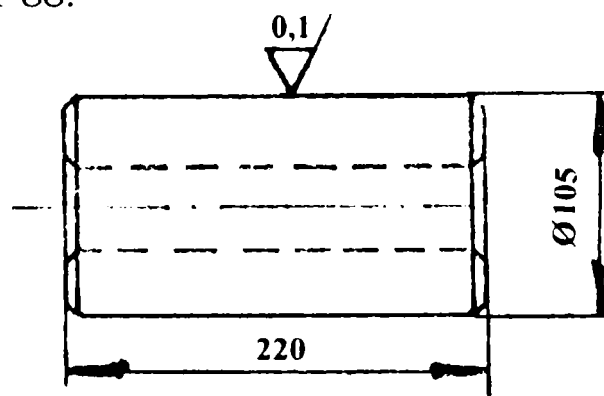


Figura 6.4

A) *Suprafinisare pentru obținerea rugozității finale prescrise.*

(figura 6.4.a)

$$F_s = (F_s)_{R_a \text{ fin}}$$

Granulație: M14

$$t_b = 7,05 \text{ min}$$

$$C = 43479 \text{ lei}$$

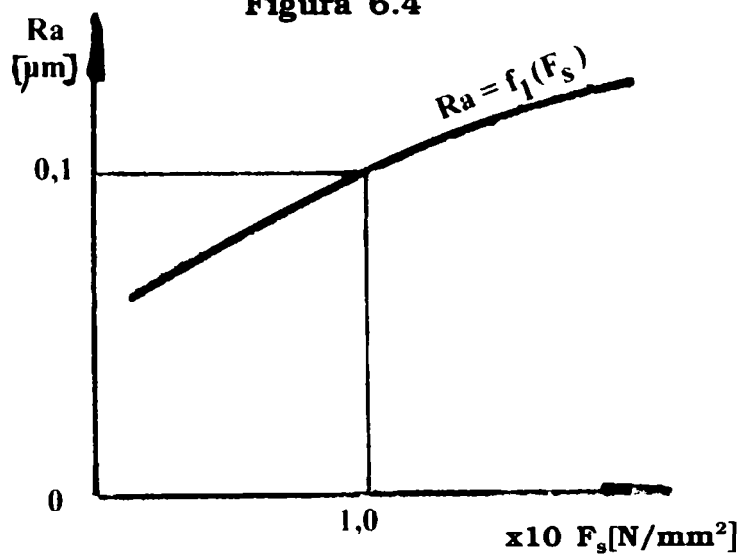


Figura 6.4.a.

B) *Suprafinisarea în două faze cu o bară abrazivă. (figura 6.4.b)*

I -  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$

II -  $F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$

Granulația: M14

Faza I:  $t_b = 3,60 \text{ min}$

$C = 30.396 \text{ lei}$

Faza II:  $t_b = 2,40 \text{ min}$

$C = 20.199 \text{ lei}$

Total:  $t_b = 6,00 \text{ min}$

$C = 50.595 \text{ lei}$

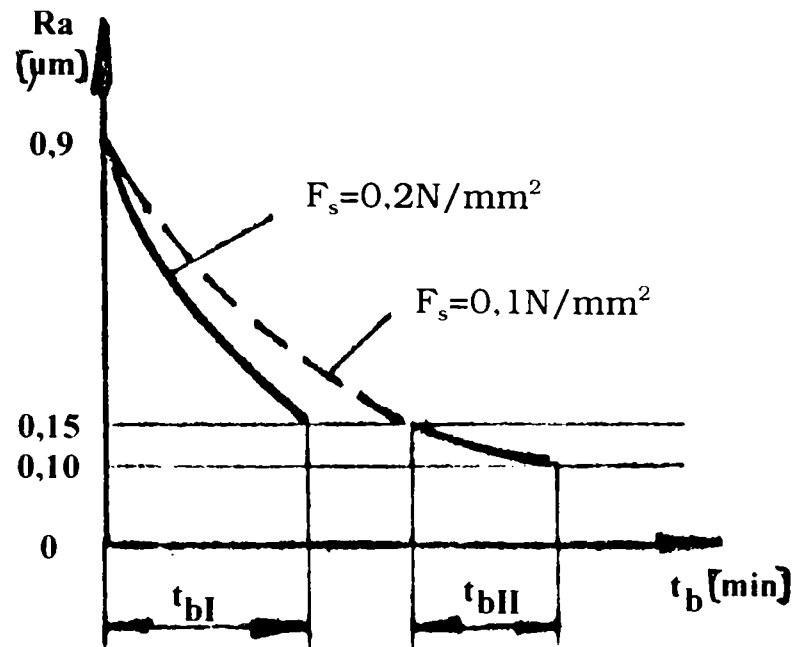


Figura 6.4.b

C) *Suprafinisarea în două faze cu două bare abrazive de granulație diferită. (figura 6.4.c)*

I -  $F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$

II -  $F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$

Granulație: M28

Granulație: M14

Faza I:  $t_b = 1,95 \text{ min}$

$C = 24.715 \text{ lei}$

Faza II:  $t_b = 3,01 \text{ min}$

$C = 21.307 \text{ lei}$

Total:  $t_b = 4,96 \text{ min}$

$C = 46.012 \text{ lei}$

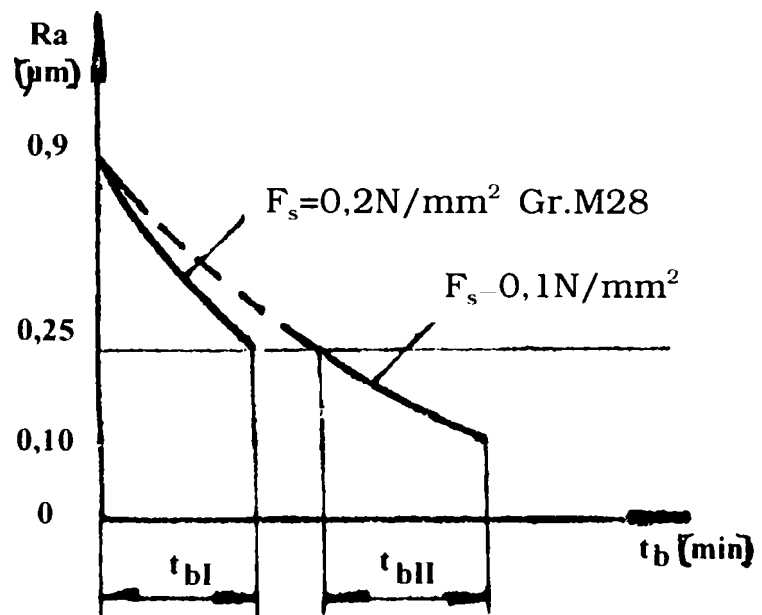


Figura 6.4.c

D) *Suprafinisarea în două faze  
cu viteze de rotație diferite.*

(figura 6.4.d)

I -  $V_r = 25 \text{ m/min}$

II -  $V_r = 80 \text{ m/min}$

Granulație: M14

Faza I:  $t_b = 3,60 \text{ min}$

$C = 30.162 \text{ lei}$

Faza II:  $t_b = 1,56 \text{ min}$

$C = 24.459 \text{ lei}$

Total:  $t_b = 5,16 \text{ min}$

$C = 54.621 \text{ lei}$

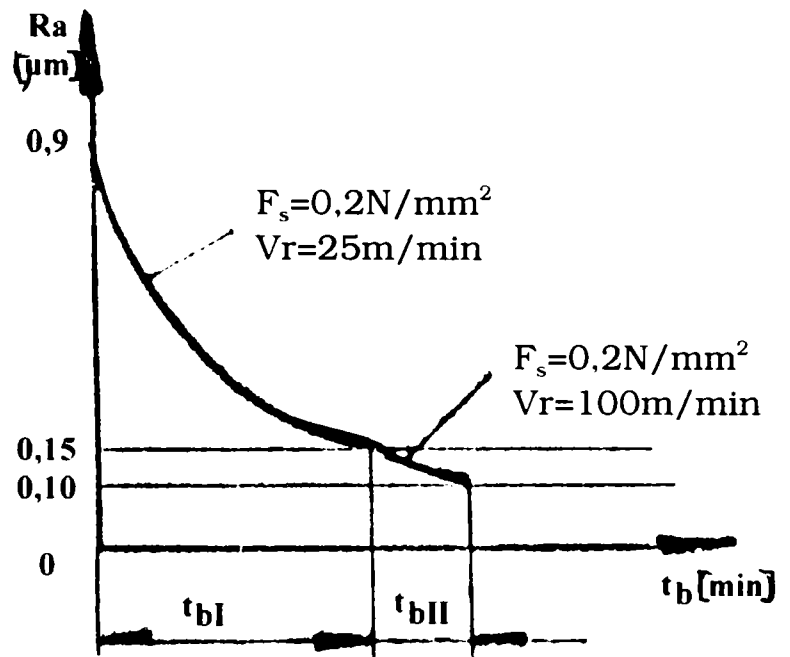


Figura 6.4.d.

E) *Suprafinisarea pentru  
costul minim al operației.*

(figura 6.4.e)

$F_s = 0,07 \text{ N/mm}^2$

Granulație: M14

$t_b = 9,0 \text{ min}$

$C_{\min} = 42.154 \text{ lei}$

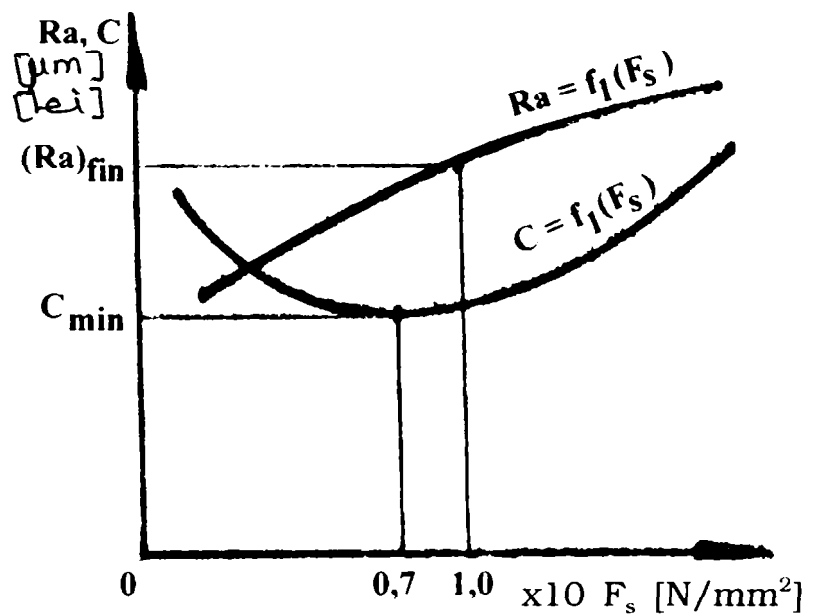


Figura 6.4.e



Piesa: Ventil de admisie - desen D201-100.

Motor Diesel 12LDA28 (figura 6.5)

Date inițiale:

- duritatea piesei 30 ... 35 HRC
- rugozitatea inițială:  $R_a = 0,5 \mu\text{m}$
- rugozitatea finală:  $R_a = 0,06 \mu\text{m}$

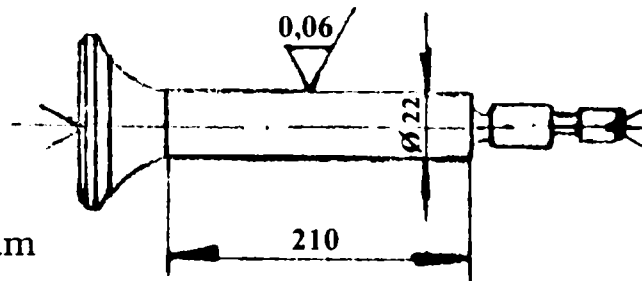


Figura 6.5

A) Suprafinisare pentru obținerea rugozității finale prescrise.

(figura 6.5.a)

$$F_s = (F_s)_{Ra \text{ fin}}$$

Granulație: M7

$$t_b = 1,63 \text{ min}$$

$$C = 32.568 \text{ lei}$$

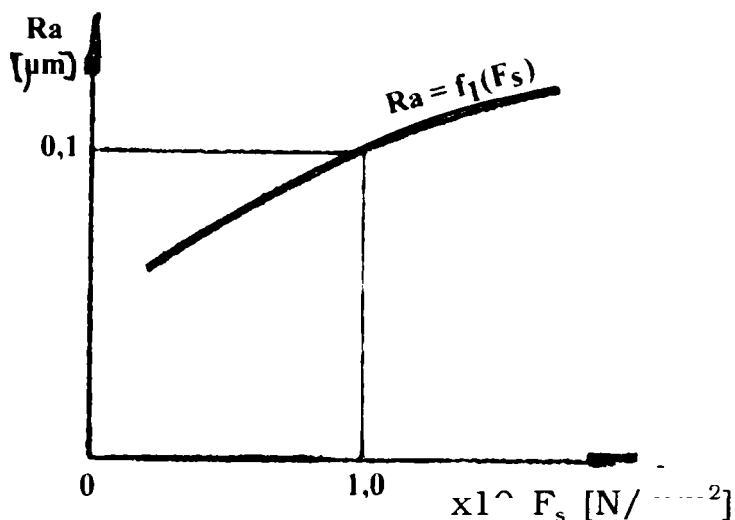


Figura 6.5.a

B) Suprafinisarea în două faze cu o bară abrazivă.(figura 6.5.b)

$$\text{I} - F_s = 0,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{II} - F_s = 0,1 \text{ N/mm}^2$$

Granulația: M7

$$\text{Faza I: } t_b = 0,85 \text{ min}$$

$$C = 16.618 \text{ lei}$$

$$\text{Faza II: } t_b = 0,54 \text{ min}$$

$$C = 15.626 \text{ lei}$$

$$\text{Total: } t_b = 1,39 \text{ min}$$

$$C = 32.244 \text{ lei}$$

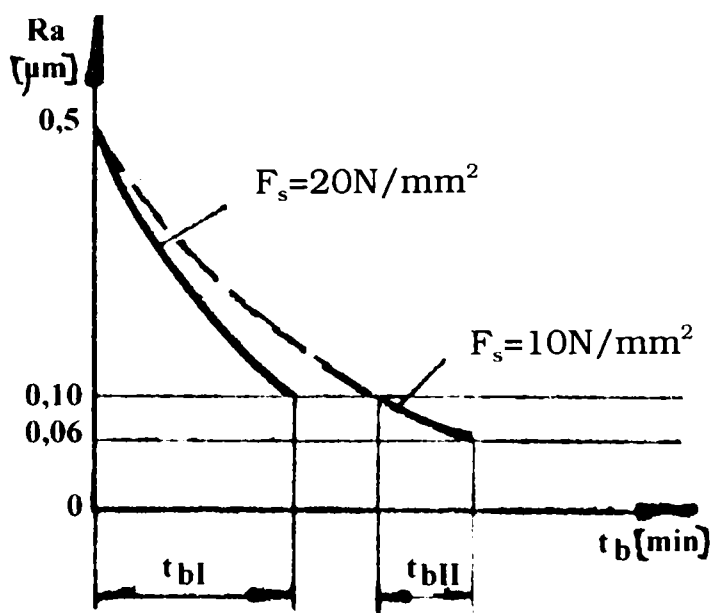


Figura 6.5.b

C) *Suprafinisarea în două faze cu două bare abrazive de granulație diferită.(figura 6.5.c)*

I -  $F_s = 0,2\text{N/mm}^2$

II -  $F_s = 0,1\text{N/mm}^2$

Granulație: M14

Granulație: M7

Faza I:  $t_b = 0,52 \text{ min}$

$C = 16.133 \text{ lei}$

Faza II:  $t_b = 0,70 \text{ min}$

$C = 15.810 \text{ lei}$

Total:  $t_b = 1,22 \text{ min}$

$C = 31.94 \text{ lei}$

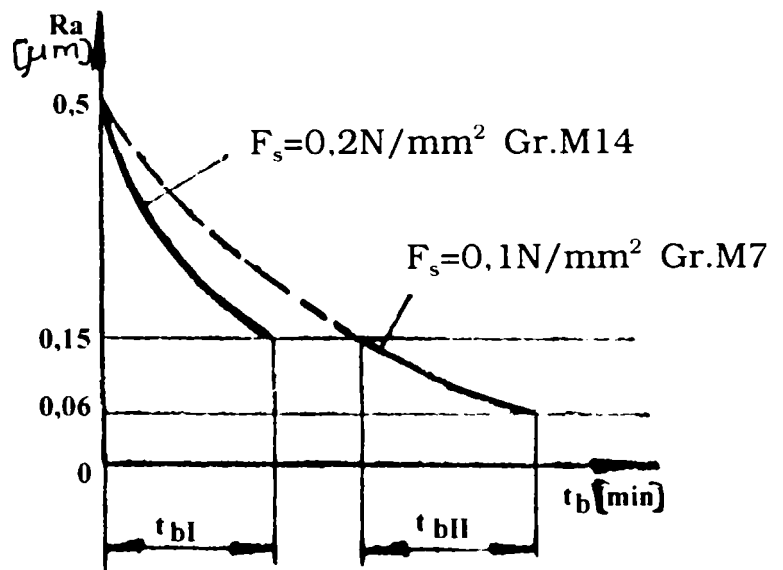


Figura 6.5.c

D) *Suprafinisarea cu viteza de rotație mărită, pentru obținerea rugozității finale prescrise.(figura 6.5.d)*

$F_s = 0,13 \text{ N/mm}^2$

$V_r = 50 \text{ m/min}$

Granulație: M7

$t_b = 1,45 \text{ min}$

$C = 31.900 \text{ lei}$

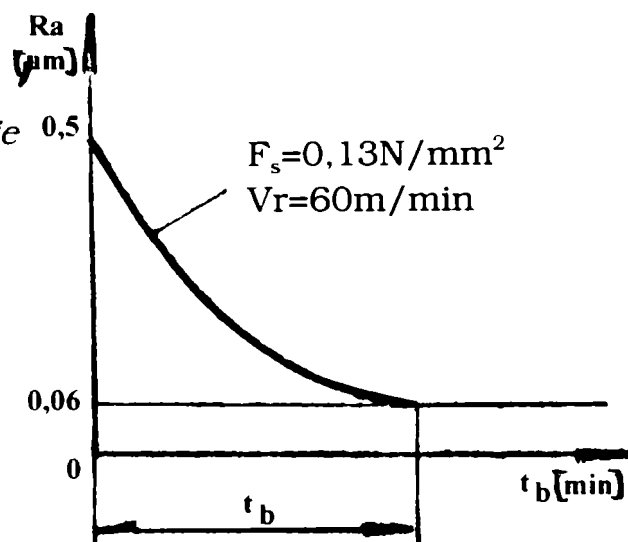


Figura 6.5.d

E) *Suprafinisarea pentru costul minim al operației.(figura 6.5.e.)*

$F_s = 0,07 \text{ N/mm}^2$

Granulație: M14

$t_b = 9,0 \text{ min}$

$C_{\min} = 32.531 \text{ lei}$

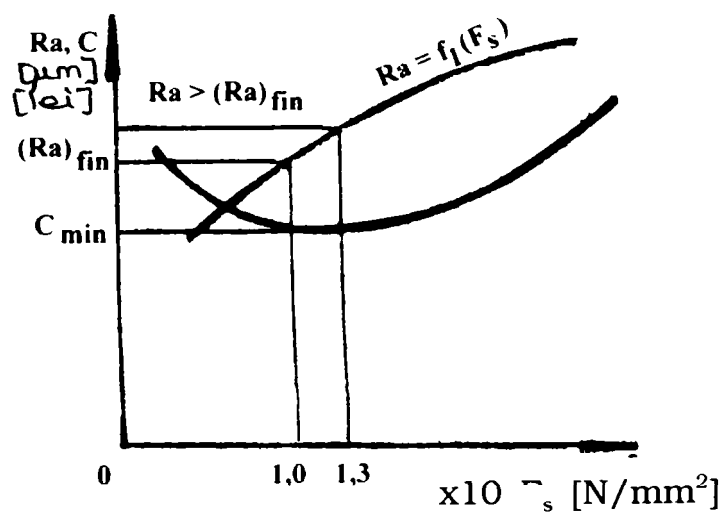


Figura 6.5.e

## **7. Optimizarea regimului de lucru la suprafinisare**

### **7.1. Stabilirea regimului de lucru la suprafinisarea cu forță de aşchiere constantă, pentru costul minim al operației**

Comparativ cu situația existentă în prezent, la suprafinisarea cu forță de aşchiere constantă, stabilirea regimului de lucru este mult simplificată, constând doar în determinarea valorii de referință a forței de aşchiere și în stabilirea vitezei mișcării de rotație a piesei.

Plecând de la datele inițiale ale fiecărui caz tehnologic în parte, se aleg caracteristicile barei abrazive și se determină viteza de rotație a piesei. Cu ajutorul relației (5.19) se determină valoarea forței specifice convenționale care asigură costul minim al operației de suprafinisare. Se verifică dacă această valoare respectă condițiile (5.24), (5.25) și (5.26). Ținând seama de aria suprafeței active a barei abrazive, se determină valoarea de referință a forței de aşchiere -  $F_s$ ; se mai calculează timpul de prelucrare și avansul longitudinal al barei abrazive.

În cele ce urmează se prezintă sistematizat, modalitatea de stabilire a regimului de lucru la suprafinisarea cu forță de aşchiere constantă, pentru costul minim al operației:

#### **A) Date inițiale:**

- dimensiunile suprafeței de prelucrat, (DxL);
- rugozitatea inițială,  $(R_a)_{\text{inițială}}$ ;
- rugozitatea finală impusă,  $(R_a)_{\text{finală}}$ ;
- duritatea stratului superficial al piesei de prelucrat.

#### **B) Se aleg conform celor stabilite:**

- dimensiunile barei abrazive, (axl) în funcție de dimensiunile suprafeței de prelucrat;

- duritatea barei abrazive în funcție de duritatea stratului superficial al piesei prelucrate;
- granulația barei abrazive în funcție de rugozitatea finală impusă;
- viteza mișcării de rotație a piesei, astfel încât la frecvența maximă a mișcării oscilatorii, unghiul de atac să fie  $\alpha = 60^\circ$ .

C) *Se calculează:*

Forța specifică convențională, pentru costul minim al operației de suprafinisare  $F_s)_{C_{\min}}$ , folosind relația (5.19).

Constanta  $C_2$  conform relației (4.20).

Coefficienții  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_G$ ,  $K_{2V}$ ,  $K_A$  și constantele  $n$ ,  $C_{02}$  se aleg din tabele 6, 7, 8 și 9 de la paragraful 4.6 în funcție de datele inițiale ale aplicației.

Timpii  $t_d$  și  $t_o$  fiind cotă parte din suma ( $t_b + t_a$ ), pot fi considerați printr-un coeficient supraunitar care la operațiile de suprafinisare are valoarea:  $K_1 = 1,12 \dots 1,15$

Având în vedere că barele abrazive nu pot fi folosite în întregime, din cauza pierderii părții de fixare în port-sculă, precum și din cauza uzării inițiale la formarea suprafeței active, cheltuielile date de relația (5.7) trebuie amplificate cu un coeficient supraunitar  $K_2$  care, pe baza calculelor la un număr de bucăți, a fost aproximat la valoarea:

$$K_2 = 1,15 \dots 1,20$$

prin care se ține seama că 15 ... 20% din greutatea barei abrazive nu poate fi folosită pentru prelucrarea pieselor.

Costurile specifice  $q_1$  (lei/min) (costul unui minut de funcționare a utilajului) și  $q_2$  (lei/g) (costul specific al barelor abrazive) sunt sau pot fi cunoscute la orice uzină constructoare de mașini. În cazul aplicației realizate acestea au valorile:

$$q_1 = 784,66 \text{ lei/min}$$

$$q_2 = 488,56 \text{ lei/g}$$

D) *Se verifică* dacă  $(F_s)c_{\min}$  nu depășește valorile limită ale restricțiilor date de relațiile (5.24), (5.25) și respectiv (5.26).

E) *Se calculează:*

- valoarea de referință a forței de așchiere, conform relației

(4.9):

$$(F_0)C_{\min} = (F_s)C_{\min} \cdot S \quad [\text{N}]$$

- timpul de bază  $t_b$ [min], folosind relația (4.10).

Constantele  $C_1$  și  $K_L$  conform relației (4.11), respectiv (4.12).

Coeficienții  $C_{01}$ ,  $K_R$ ,  $K_{IV}$ ,  $K_D$  și constanta  $m$ , se aleg din tabele 2, 3, 4 și 5 de la paragraful 4.5.4 și respectiv 4.5.5:

- turația  $n_p$  a piesei se calculează cu relația (5.27).
- avansul longitudinal al barei abrazive se obține cu relația (4.13).
- numărul de treceri,  $i$ , care se determină ca suma rezultată din relația (4.16) rotunjită la cel mai apropiat număr par.
- numărul total de rotații executate de piesă în timpul prelucrării  $n_t$ , conform relației (4.14)

În final, trebuiesc cunoscute următoarele elemente, pentru a se putea începe prelucrarea:

- valoarea de referință a forței de așchiere:  $(F_0)_{C_{min}}$  [N];
- timpul de bază:  $t_b$  [min];
- turația piesei:  $n_p$  [rot/min];
- avansul longitudinal:  $f_l$  [mm/rot].

F) În final se calculează costul minim al operației de suprafinisare considerând  $t_a = 2$  min și  $C_{1p} = 28.248$  lei

unde:  $t_a$  – timpul auxiliar;

$C_{1p}$  – cheltuieli de pregătire-încheiere;

Rezultă:  $C_{min}$  [lei] (conform relației 5.20)

unde:  $q_1 = 784,66$  lei/min

$K_1 = 1,12 \dots 1,15$

$C_1$  - calculat la punctul C)

$t_a = 1, 2, 3$  min

$$q_2 = 488,56 \text{ lei/g}$$

$$K_2 = 1,15 \dots 1,20$$

$C_2$  - calculat la punctul A)

$$n = 1,9$$

$$m = 0,65$$

$$C_{1p} = 28.248 \text{ lei}$$

Rezultă în final:  $C_{\min}$  [lei] (conform relației 5.20)

Prin reglarea lanțurilor cinematice ale mașinii, pentru realizarea valorilor calculate ale turației și avansului longitudinal și prin prelucrarea piesei în timpul prestabilit, cu o forță de așchiere menținută constantă la valoarea  $(F_0)_{C_{\min}}$ , se asigură obținerea rugozității finale prescrise și costul minim al operației de suprafinisare.

## 8. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

◆ Subiectul prezentei teze de doctorat a presupus, în afara unei temeinice aprofundări a principiilor teoretice și realizărilor în domeniu - cunoscute din bibliografia disponibilă, o atentă și sistematică experimentare, folosind un dispozitiv experimental de laborator care, pentru scopul propus, a corespuns în totalitate.

◆ *A fost conceput și realizat traductorul dispozitivului experimental de suprafinisare.*

◆ Bogata bază de date experimentale, obținută în laborator și prezentată în teză a condus - firesc la *necesitatea găsirii unei metode de exploatare practică a graficelor*, cu alte cuvinte **transpunerea datelor experimentale în formă analitică**, cu ajutorul unor *coeficienți de corecție* -  $K$ ,  $K_R$ ,  $K_{1V}$ ,  $K_D$ ,  $K_L$ , etc. și *a unor constante* -  $C_1$ ,  $C_{01}$ ,  $C_2$ ,  $C_{02}$ , sau *exponenți* -  $m$ ,  $n$ .

◆ *Interpretarea fizică a formulelor obținute, combinată cu observația directă din programul experimental, au condus la metodologia de optimizare a procesului de suprafinisare*, inclusiv prin programare pe calculator. Formulele de calcul rezultate dintr-un însemnat program experimental, sunt de asemenea, o contribuție personală în această teză.

Sintetizând rezultatele obținute, apreciez că trebuie să se rețină următoarele concluzii:

◆ Între rugozitatea finală obținută prin suprafinisare și forța specifică convențională, există o relație bine determinată. Pe baza graficelor de dependență stabilite experimental pentru diferite granulații ale barelor abrazive, se poate determina valoarea forței specifice



convenționale care asigură obținerea rugozității finale prescrise. În acest caz, se neglijează capacitatea productivă și costul operației de suprafinisare.

◆ Rugozitatea finală depinde și de viteza de rotație a piesei prelucrate: prin creșterea vitezei, se pot obține rugozități mai mici. Graficele de dependență stabilite experimental, permit determinarea rugozității finale obținute cu diferite valori ale vitezei.

◆ S-a stabilit că între timpul de bază al operației de suprafinisare și forța specifică convențională, există o interdependență care s-a exprimat printr-o relație obținută pe baza prelucrării datelor experimentale (relația 4.10). Valorile constantelor și coeficienților din această formulă au fost determinate pe baza unui număr mare de măsurători. Cu această relație, este posibil să se stabilească valoarea de referință a forței de așchiere prin care se asigură timpul minim de prelucrare și deci capacitatea de producție maximă.

◆ S-a determinat experimental dependența dintre uzura barei abrazive și forța specifică convențională, care, de asemenea, poate fi exprimată printr-o relație având structura, valorile constantelor și coeficienților, determinate pe baza prelucrării datelor experimentale.

◆ Din analiza costului operației de suprafinisare, a rezultat că pentru o anumită valoare a forței specifice convenționale se obține costul minim al operației. S-a stabilit pe cale analitică, relația (5.19) de calcul a acestei valori. S-a stabilit de asemenea relația pentru calculul costului operației (expresia 5.20).

◆ Au fost analizate posibilitățile de execuție a operației de suprafinisare *în două faze*, cu forțe specifice convenționale diferite, cu bare abrazive de granulație diferită și cu viteze de rotație diferite.

Prin suprafinisarea în două faze, cu forțe specifice convenționale de valori diferite sau cu bare abrazive de granulație diferită, se pot obține reduceri importante ale timpului de prelucrare, deci o creștere a capacității productive, *dar costul operației este mai ridicat.*

Prin suprafinisarea în două faze cu viteze de rotație diferite, se obțin rugozități mai fine ale suprafețelor prelucrate, dar costul operației are valori mai ridicate. Posibilitatea de a obține rugozități mai fine este totuși importantă, în cazurile când nu se dispune de bare abrazive de cea mai fină granulație.

◆ Pe baza aplicațiilor analizate, rezultă că prelucrarea cea mai economică se obține dacă se lucrează cu valoarea forței specifice convenționale care asigură costul minim al operației.

◆ Am introdus folosirea computerului la calculul regimului de lucru optim la suprafinisare, ceea ce ușurează extrem de mult munca celor care normează acest procedeu de suprafinisare.

◆ ***Pe baza programului de calcul întocmit,*** se poate proiecta rapid și precis *varianta optimă a tehnologiei de suprafinisare* în funcție de:

- dimensiunile suprafeței de prelucrat, rugozitatea inițială și cea finală, duritatea stratului superficial al piesei;
- tipul barei abrazive alese și viteza de rotație a piesei.

*Programul permite calculul forței specifice convenționale pentru costul minim al operației de suprafinisare  $(F_s)_{C_{min}}$ , care reprezintă mărimea de bază a tehnologiei.*

## Bibliografie

1. **Badea, V.**, *Tehnologia de netezire a suprafețelor. Studiu de sinteză*. ODPT, 1971
2. **Baur, E.**, *Superfinishbearbeitung (Kurzhubhonen)*. In: *VDI-Zeitschrift*, nr. 26, pag. 1247-1251, 1967
3. **Brown, N. G.**, *Why Superfinish?* Gisholt Machine Company, 1984
4. **Butorin, G. I.**, *Optimalinoe davlenie dlie bruscov pri superfinișirovanii*. In: *Mașinostroители*, nr. 5. pag. 39-40, 1971
5. **Butorin, G. I.**, *Vliianie skorosti rezaniia na effektivnosti superfinișinovaniia*. In: *Stanki i instrument*, nr.4, pag. 29-30, 1971
6. **Buzdugan, G. și Blumenfeld, M.**, *Tensonometrie electrică rezistivă*. Editura Tehnică, București, 1966
7. **Coman, G. ș.a.**, *Probleme actuale ale finisării și suprafinisării pieselor de mașini*. Sinteza documentară, INID, 1973
8. **Coman, G. și Badea, V.**, *Calitatea stratului superficial și durabilitatea pieselor de mașini*. În: *B.I.T. Mașini-unelte și prelucrarea metalelor prin așchiere*, nr.2, p. 17-38, 1973
9. **Crișan, S. ș.a.**, *Prelucrarea prin vibronetezire a inelelor de etanșare de la mecanismul de propulsie al tractorului S-1300*. În: *construcții de mașini*, nr.2, p. 99-103, 1967
10. **Derenthal, R.**, *Practica industrială a vibronetezirii*. Traducere din limba germană. În: *B.I.T. Mașini-unelte și prelucrarea metalelor prin așchiere*, nr.11, p. 34-39, 1974
11. **Derenthal, R.**, *Influența proprietăților sculei asupra rezultatelor prelucrării la vibronetezire*. Traducere din limba germană. În: *I.B.T. Mașini-unelte și prelucrarea metalelor prin așchiere*, nr. 7, p. 377-382, 1968
12. **Dreucean, A.**, *Mașini-unelte și prelucrări prin așchiere*, EDPT - București 1968

13. **Enache, Șt.**, *Calitatea suprafețelor prelucrate*. Editura Tehnică, București, 1966
14. **Gerhardt, E.**, *Procedeul de superfinisare*. Traducere din: Die Maschine, nr. 10, p. 23-24, 1970
15. **Groza, I.V.**, *Prelucrări cu medii abrazive magneto-reologice*, Editura Politehnica, Timișoara 2001
16. **Lungu, I.**, *Analiza cinematicii procesului de suprafinisare*. Buletin științific și tehnic al I.P.T.V.Timișoara 1974.
17. **Lungu, I.**, *Studiul autoascuțirii barei sculei abrazive la suprafinisare*. Buletin științific și tehnic al I.P.T.V.Timișoara 1974.
18. **Marinescu, C.**, *A New Concept regarding Optimize Microfinish character of service*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, vol.1, no.1, 2003
19. **Marinescu, C.**, *Roughness Dispersion decrease of Microfinish surfaces*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, vol.1, no.2, 2003
20. **Maslov, E. N.**, *Teoria superfinisării materialelor*. Traducere din limba rusă, Moscova, 1974
21. **Mazalski, V. N.**, *Mașini de superfinisat*. Traducere din limba rusă, Leningrad, 1974
22. **Mazaliski, V.N.**, *Superfînișniē stanki. "Mașinostroenie"*, Leningrad, 1974
23. **Nădășan, Șt. ș.a.**, *Oboseala metalelor*. Editura Tehnică, București, 1962
24. **Oprean, A. ș.a.**, *Bazele așchierii și generării suprafețelor*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
25. **Roiterstein, E.H.**, *Vliianie ciastotī colebanii abrazivnovo instrumenta na proizvoditelinosti microdovodki*. In: Stanki i instrument, nr.7, pag. 74-75, 1972
26. **STAS 1753/1-90, STAS 1753/2-91**, *Materiale abrazive. Granulații*.

27. **STAS 5456-80**, *Prelucrarea metalelor prin aşchiere. Terminologie.*
28. **STAS 5730/1-85**, *Starea suprafeţelor. Rugozitatea suprafeţei. Terminologie.*
29. **STAS 5730/3-85**, *Starea suprafeţelor. Parametrii de rugozitate şi specificarea rugozităţii suprafeţei.*
30. **STAS 6599/3-89**, *Cinematica aşchierii. Terminologie.*
31. **STAS 6965/1-85**, *Acţionări hidrostatice şi pneumostatice. Terminologie.*
32. **STAS 7145-86**, *Acţionări hidrostatice şi pneumostatice. Semne convenţionale.*
33. **Atlantic Germania**, *Pietre de rectificat şi honuit pentru rulmenţi*
34. **Ernst Thielenhaus Germania**, *Prospecte* Procedeu Microfinish; Aplicabilitatea metodei; Prelucrarea fină economică în industria de rulmenţi; Noutăţi pentru construcţia de maşini şi aparate; Noutăţi în industria auto şi industria de motoare; Prelucrarea fină pentru precizie înaltă; Despre aplicabilităţile metodei Microfinish în industria de automobile şi motoare cu ardere internă; Microfinisare pentru toate suprafeţele; Microfinisarea pentru prelucrarea fină economică; Ultimele noutăţi în industria de rulmenţi;
35. **Grieshaber - Finish Germania**, *Prospect* - Tipuri de capete de superfinisat
36. **Nagel Germania**, *Prospecte* - Oferta noastră pentru dumneavoastră; Aparate de superfinisat pneumatice SG 50 şi SG 75; - Pietre de superfinisat pentru oţel călit şi materiale nemetalice, crom; - Maşini de superfinisat fără centre;
37. **Supfina Germania**, *Prospecte* - Scule de superfinisat