

UNIVERSITATEA TEHNICĂ TIMIȘOARA
Facultatea de Mecanică

599 053
150 G

TEZĂ de DOCTORAT

Ing. GHEORGHE POPOVICI

**Conducător științific:
Prof.dr.ing. IOAN MICȘA**

1995

599.053
150 G

UNIVERSITATEA TEHNICĂ TIMIȘOARA
Facultatea de Mecanică

ing. POPOVICI GHEORGHE

TEZĂ de DOCTORAT

**OPTIMIZAREA
PRELUCRĂII PRIN STRUNJIRE
R A
OȚELURILOR INOXIDABILE AUSTENITICE
ÎN CONDIȚII DE RĂCIRE CRIOGENICĂ**

**BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA**

**Conducător științific:
Prof.dr.ing. IOAN MICȘA**

1995

CUPRINS

Introducere	3
Terminologie și simboluri	5
Capitolul I. Stadiul actual al cercetărilor privind aşchierea în condiții de răcire criogenică	7
1.1. Aşchierea criogenică - tehnologie nouă de prelucrare a metalelor	7
1.1.1. Concept și evoluție	7
1.1.2. Medii de răcire criogenică	8
1.1.3. Prelucrabilitatea în condiții de răcire criogenică	9
1.2. Stadiul actual al cercetărilor din străinătate privind aşchierea în condiții de răcire criogenică	12
1.2.1. Cercetări privind prelucrabilitatea oțelurilor inoxidabile austenitice	12
1.2.2. Cercetări privind aşchierea în condiții de răcire criogenică cu dioxid de carbon a oțelurilor inoxidabile austenitice	15
1.2.3. Cercetări privind aşchierea în condiții de răcire criogenică cu azot lichid a oțelurilor inoxidabile austenitice	20
1.3. Stadiul actual al cercetărilor efectuate în țară privind aşchierea în condiții de răcire criogenică	25
1.3.1. Cercetări privind aşchierea criogenică efectuate la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca	25
1.3.2. Cercetări privind aşchierea criogenică efectuate la Universitatea Tehnică din Timișoara	30
Capitolul II. Instalația de răcire criogenică și aparatura de cercetare	34
2.1. Instalația de răcire criogenică cu azot lichid	34
2.1.1. Elemente tehnice specifice unei instalații de răcire criogenică	34
2.1.2. Descrierea constructivă a instalației de răcire criogenică cu azot lichid	36
2.1.3. Descrierea funcțională a instalației de răcire criogenică cu azot lichid	39
2.1.4. Forma constructivă și poziția de lucru a diuzei	41
2.1.5. Elemente de calcul privind instalația de răcire	42
2.1.6. Avantajele și dezavantajele instalației	44
2.2. Particularitățile constructive ale sculelor aşchietoare răcite criogenic	45
2.3. Aparatura de cercetare	48
Capitolul III. Cercetări experimentale, rezultate și interpretări	63
3.1. Condiții de experimentare	63
3.1.1. Piesa - probă de prelucrat	63
3.1.2. Mașina unealtă	64
3.1.3. Scula aşchietoare	64
3.1.4. Regimul de aşchiere	65
3.1.5. Modul de răcire	66
3.2. Influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra volumului, formei și modului de detașare ale aşchiilor	68
3.2.1. Considerații teoretice	68
3.2.2. Fișe de rezultate	69
3.2.3. Interpretarea rezultatelor	71

3.3. Influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra forței, momentului și puterii de așchiere . . . . .	.73
3.3.1. Considerații teoretice . . . . .	.73
3.3.2. Fișe de rezultate . . . . .	.75
3.3.3. Interpretarea rezultatelor . . . . .	.78
3.4. Influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra calității suprafeței prelucrate . . . . .	.93
3.4.1. Considerații teoretice . . . . .	.93
3.4.2. Fișe de rezultate . . . . .	.94
3.4.3. Interpretarea rezultatelor . . . . .	.128
3.5. Influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra uzurii și durabilității plăcuțelor așchietoare . . . . .	.130
3.5.1. Considerații teoretice . . . . .	.130
3.5.2. Fișe de rezultate . . . . .	.132
3.5.3. Interpretarea rezultatelor . . . . .	.143
3.5.4. Prelucrarea statistică a datelor experimentale . . . . .	.144
3.6. Norme privind tehnica securității muncii la strunjirea în condiții de răcire criogenică . . . . .	.149
Capitolul IV. Optimizarea prelucrării prin strunjire în condiții de răcire criogenică, asistată de calculator . . . . .	.151
4.1. Problema de optim . . . . .	.151
4.2. Variabilele de decizie . . . . .	.155
4.3. Funcțiile obiectiv . . . . .	.157
4.3.1. Optimizarea după criteriul capacității maxime de producție . . . . .	.157
4.3.2. Optimizarea după criteriul costului minim de prelucrare . . . . .	.159
4.3.3. Optimizarea după criteriul profitului maxim realizat . . . . .	.164
4.3.4. Analiza comparativă a criteriilor de optimizare capacitate-cost-profit . . . . .	.166
4.4. Restricțiile funcției obiectiv . . . . .	.169
4.4.1. Restricții impuse de valorile limită admisibile ale parametrilor cinematici . . . . .	.169
4.4.2. Restricții impuse de valorile limită admisibile ale parametrilor dinamici . . . . .	.172
4.4.3. Restricții impuse de valorile limită admisibile ale parametrilor cinematici . . . . .	.174
4.4.4. Restricții impuse de consumul de azot lichid . . . . .	.175
4.5. Programele de rezolvare a modelelor de optimizare . . . . .	.176
Capitolul V. Concluzii. Contribuții personale . . . . .	.183
Bibliografie . . . . .	.187

INTRODUCERE

Prezenta lucrare este o sinteză a activității de cercetare desfășurată de autor în domeniul noilor tehnologii de prelucrare mecanică prin așchiere.

Obiectivul principal al tezei de doctorat constă în demonstrarea viabilității prelucrării prin strunjire a oțelurilor inoxidabile austenitice în condiții de răcire criogenică. Lucrarea încearcă să îmbine pregătirea de specialitate și cunoștințele autorului privind proiectarea și optimizarea tehnologică asistată de calculator.

Teza este structurată pe cinci capitole și se întinde pe 190 de pagini. Ea cuprinde 112 relații, 66 figuri, 41 tabele, 50 fișe de rezultate și 4 programe de optimizare. De asemenea, sunt prezentate 102 referințe bibliografice, din care 10 aparțin autorului, iar 2 au fost publicate și în reviste de specialitate din străinătate (Austria și Italia).

Acum, după finalizarea lucrării, autorul dorește să-și exprime, în primul rând, mulțumirile față de conducătorul științific, Prof. dr. ing. IOAN MICȘA, pentru îndrumarea științifică competentă și deosebitul sprijin acordat în pregătirea și finalizarea tezei.

Totodată, aduce mulțumiri colectivelor de specialiști de la U.C.M. Reșița S.A. și de la Institutul de Cercetare HIDEROM Reșița, pentru sprijinul concret acordat la efectuarea cercetărilor și prelucrarea rezultatelor experimentale.

Nu în ultimul rând, autorul mulțumește tuturor colegilor de la Facultatea de Inginerie a Universității „Eftimie Murgu” din Reșița care i-au făcut sugestii utile în timpul elaborării tezei și cu care a purtat discuții rodnice în acest sens, precum și celor care au contribuit la redactarea acestei lucrări.

Reșița, la 21 martie 1995

AUTORUL

TERMINOLOGIE ȘI SIMBOLURI

În cadrul lucrării s-au folosit frecvent trei termeni specifici tematicii abordate:

1. Strunjirea criogenică

Prelucrarea mecanică prin aşchiere în condiții de răcire criogenică, folosind medii cum ar fi dioxidul de carbon și azotul lichid, care asigură temperaturi de răcire joase, între 223-23 K (-50°+ -200°C), sau chiar foarte joase, sub 23 K (-200°C).

2. Optimizarea prelucrării prin strunjire criogenică

Determinarea valorilor optime ale parametrilor regimului de strunjire, viteză, avans, adâncime, pentru un anumit criteriu de optimizare - timp, cost, profit - avându-se în vedere și influența fazei de prelucrare (degroșare sau finisare), a tipului de plăcuță (din oțel rapid sau din carburi metalice) și a mediului de răcire, prin includerea acestor factori în relațiile restricțiilor funcției obiectiv.

3. Rezistența de aşchiere criogenică a oțelului inoxidabil austenitic

Este forța specifică necesară pentru strunjirea din materialul prelucrat (10 TiNiCr 180) a unei aşchii cu o secțiune de 1 mm², în condiții de răcire criogenică.

Simbolurile de bază care apar în lucrare au următoarele semnificații:

a	adâncimea de aşchiere	A	adausul total (radial) de prelucrare
b	lățimea aşchiei	C_M	costul unui minut de prelucrare pe mașină
f	avansul pe rotație	C_p	costul de prelucrare
h	grosimea aşchiei	C_s	costul ce revine unui tăiș-plăcuță
i	numărul de treceri	D	diametrul piesei
j	numărul de faze	F_c	forța principală (tangentială) de aşchiere
k	numărul de operații	F_f	forța de avans (axială) de aşchiere
k_c	forța specifică de aşchiere	F_p	forța pasivă (radială) de aşchiere
k_{c1}	rezistența de aşchiere	H_t	adâncimea stratului ecruizat
l_0	latura plăcuței	L	lungimea suprafeței de prelucrat
m_c	exponent de influență grosime-forță specifică	M_c	momentul de aşchiere
n	turația de lucru	P_r	profitul realizat
r_0	raza la vârf a plăcuței	Q_p	capacitatea de producție
s_0	grosimea plăcuței	Q_s	volumul specific de aşchii
t_{aM}	timp auxiliar de mașină	R_t	rugozitatea teoretică
t_{aS}	timp auxiliar de sculă	T	durabilitatea plăcuțelor
t_p	timp de prelucrare	VB	lățimea uzurii pe fața de aşezare
φ	unghiul de conicitate	VR	intensitatea uzării
η	randamentul mașinii		
θ	gradul de răcire		

CAPITOLUL I

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND AȘCHIEREA ÎN CONDIȚII DE RĂCIRE CRIOGENICĂ

1.1. AȘCHIEREA CRIOGENICĂ - tehnologie nouă de prelucrare mecanică a metalelor

1.1.1. Concept și evoluție

Dezvoltarea industriilor aeronautică, aerospațială și a celei termonucleare impune necesitatea de aplicare a unor noi tehnologii de prelucrare mecanică prin așchiere, îndeosebi la materiale cu o prelucrabilitate scăzută, cum sunt oțelurile inoxidabile austenitice.

Deși încă puțin cunoscută, prelucrarea mecanică prin așchiere în condiții de răcire criogenică, denumită în literatura de specialitate [12], [17], [29], [66], [71] pe scurt, **așchiere criogenică (AC)**, este supusă unor cercetări aprofundate în construcția de mașini.

Cercetarea în timp a așchierii criogenice poate fi împărțită [44], [69], [71], în trei perioade distincte:

- **prima perioadă** a cercetărilor, cuprinsă între anii 1953-1975, poate fi apreciată ca perioada încercărilor unor medii de răcire [6], [29], [30], [66], când s-a urmărit așchierea criogenică comparativ cu așchierea obișnuită.

Astfel, studiul prelucrării prin așchiere în condiții de răcire criogenică a fost inițiat de către inginerul american **Bartle**, în anul 1953 [71], folosind ca mediu **dioxidul de carbon**. Datorită rezultatelor promițătoare obținute, procedeul a fost imediat preluat și îmbunătățit de către societatea Carbon Dioxide Co., dându-i denumirea de proces „Ce-De-Cut” [7].

În anul 1977, cercetătorul japonez **Okoshi** experimentează un nou mediu de răcire, și anume **azotul lichid** [44], [69], [71], [74]. Din acest an, azotul lichid este tot mai des folosit ca mediu de răcire la prelucrările mecanice prin așchiere, datorită temperaturilor joase pe care le realizează (până la 77 K) și a faptului că nu este toxic, și are un preț scăzut [71].

- în a doua perioadă, între anii 1975-1985, cercetările au fost orientate asupra prelucrabilității prin diferite procedee de aşchiere a unor oțeluri speciale, cum sunt oțelurile austenitice inoxidabile și cele refractare. În acest sens [1], [12], [71], ca urmare a cooperării între US Air Force și societatea Convair Aircraft Corp., au fost puse în practică procedee de **strunjire, găurire și frezare** în condiții de răcire cu vapori de dioxid de carbon la temperaturi de până la 193 K a unor oțeluri inoxidabile austenitice. În același timp, cercetătorii ruși **Filonenko și Sobolev** [14], [48], [66] au studiat efectele răcirii cu CO₂ la strunjirea unei game mari de oțeluri, printre care oțelul carbon OLC 45 și cel inoxidabil austenitic K (15 SiNiCr 250).

- a treia perioadă este declanșată de declarația lui John Rohlf, președintele firmei Connecticut Special Machine, care, în 1985 afirma: „**Capacitatea criogeniei de a îmbunătăți prelucrabilitatea și rezistența la oboseală a materialelor este practic nelimitată.**”

În prezent [24], [78], [102], au loc cercetări aprofundate în vederea optimizării acestei tehnologii și aplicării ei în practica industrială.

1.1.2. Medii de răcire criogenică

Mediul de aşchiere are o influență importantă asupra prelucrării mecanice prin aşchiere, datorită efectelor pe care le produce:

- **efectul de răcire**, care se manifestă asupra sculei aşchietoare, suprafeței prelucrate și aşchiel, prin reducerea temperaturii din zona de aşchiere;
- **efectul de ungere**, prin micșorarea frecării dintre sculă și aşchie, pe fața de degajare a sculei, și respectiv dintre sculă și piesă, pe fața de aşezare a sculei;
- **efectul de spălare**, prin îndepărtarea aşchiilor din zona de aşchiere.

Este cunoscut faptul că la aşchiera obișnuită lichidul cu cel mai mare efect de răcire este apa, iar lichidul cu cel mai mare efect de ungere este uleiul.

În principiu, aşchiera criogenică se bazează pe accentuarea efectului de răcire, prin folosirea unor medii care au temperaturi joase, între 223 și 23 K (-50 + -200°C).

Datorită exploatării ușoare și prețului relativ scăzut, cele mai utilizate medii de răcire criogenică sunt:

- **azotul lichid (N₂L)**, care are temperatura critică la 126,2 K, presiunea critică

33,45 bar, o densitate de $0,8 \times 10^3 \text{ kg/dm}^3$ și căldura latentă de $199,2 \times 10^3 \text{ J/kg}$. El este inert, netoxic și neinflamabil. Azotul lichid este puțin solubil în apă și asigură o temperatură de răcire de până la 83 K (-190°C) [78].

- **dioxidul de carbon (CO_2)**, ca fluid de răcire are temperatura critică la 304,16 K, presiunea critică 72,9 bar, o densitate de $0,790 \text{ kg/dm}^3$ și căldura latentă de $216 \times 10^3 \text{ J/kg}$. El se dizolvă ușor în apă și asigură o temperatură de răcire de până la 193 K (-80°C) [66].

În tabelul 1.1 sunt redate principalele proprietăți ale acestor medii de răcire criogenică.

Tabelul 1.1

Mediul criogenic	Densitatea [kg/dm^3]	Căldura latentă [J/kg]	Punctul critic		
			T_c [K]	p_c [bar]	V_c [cm^3/g]
N_2L	0,809	$199,2 \cdot 10^3$	126,2	33,45	3,18
CO_2	0.790	$216 \cdot 10^3$	304,16	72,9	3,32

Mediul de răcire criogenică permite reglarea la nivelul dorit a temperaturii din zona de așchiere.

Nu se recomandă folosirea ca medii de răcire criogenică a oxigenului lichid sau a aerului lichid, datorită pericolului de aprindere violentă în timpul prelucrării mecanice [88].

1.1.3. Prelucrabilitatea în condiții de răcire criogenică

La așchiera criogenică, formarea așchiei, forța specifică de așchiere și rugozitatea suprafețel sunt influențate de răcirea piesei și/sau sculei de către mediul criogenic. Aceasta se explică prin trei fenomene fundamentale [2], [72], [77], [94], [98], [102]:

- 1- creșterea tensiunilor de forfecare a materialului de prelucrat;
- 2- fragilizarea structurii materialului la temperaturi joase;
- 3- schimbarea caracterului frecării dintre așchie și sculă, pe fața de degajare.

Primul fenomen este cunoscut din „Rezistența materialelor” și duce la creșterea forțelor de așchiere, prin creșterea rezistenței de așchiere a materialului, cu efect negativ asupra prelucrabilității, în urma răcirii în condiții criogenice.

Al doilea fenomen, cunoscut din „Știința materialelor“, determină scăderea rezistenței de așchiere, implicit o reducere a forțelor de așchiere și formarea unor așchii discontinue.

Al treilea fenomen, cunoscut din „Tribologie“, determină reducerea forțelor de frecare dintre fața de degajare a sculei și așchia ce se desprinde, diminuarea depunerilor pe tăiș și scăderea uzurii sculei.

Aceste fenomene produc modificarea atât a caracteristicilor mecanice ale materialului sculei, cât și ale materialului piesei de prelucrat.

În esență, la așchiera criogenică se produce o creștere a caracteristicilor de duritate și rezistență mecanică, și respectiv o diminuare a caracteristicilor de plasticitate. Important este ca aceste tendințe să fie corect accentuate, în funcție de comportarea materialului sculei, și respectiv a piesei, la temperaturi joase.

În acest sens, o comportare specifică la temperaturi scăzute o au **oțelurile inoxidabile austenitice**. Acestea au o structură în care constituentul preponderent este austenita, care are o duritate medie de 200 HB. Mai mult, având un conținut scăzut în carbon (sub 0,1%) și o anumită proporție (18-8) între principalele elemente de aliere (Cr-Ni), aceste oțeluri prezintă o stabilitate a austenitei până la temperatura ambiantă și chiar sub 0°C. Austenita reziduală conferă oțelurilor inoxidabile austenitice o **plasticitate ridicată** și o accentuată **tendință de ecruisare** în timpul prelucrării prin așchiere. Ca urmare, aceste oțeluri fac parte din grupa de materiale cu **prelucrabilitate prin așchiere scăzută**, punând probleme deosebite la prelucrare, având următoarele tendințe [8], [19], [20], [29], [30], [71]:

- a) formarea unui șpan moale, greu de înlăturat de pe vârful sculei;
- b) sensibilitate mare la ecruisare în timpul așchierii;
- c) conductivitate termică foarte scăzută, cu influență negativă asupra transmiterii căldurii din zona de așchiere.
- d) frecare intensă între așchie și sculă, pe fața de degajare, fapt ce duce la formarea de microsuduri.

La aceste oțeluri, în timpul răcirii la temperaturi joase, are loc o transformare a austenitei reziduale în martensită, fiind supuse legii comune a materialelor: prin scăderea temperaturii cresc caracteristicile de rezistență și scad alungirea relativă și reziliența. Micșorarea indicatorilor de plasticitate se produce însă într-un grad mai mic decât la

oțelurile carbon și slab aliate.

În tabelul 1.2 sunt redate caracteristicile mecanice ale oțelurilor inoxidabile austenitice din grupa (18-8) la temperaturi joase, comparativ cu cele ale oțelului carbon OLC 45 (cel mai des utilizat) [8], [96], [99], [101].

Tabelul 1.2

Caracteristici mecanice	OLC45			10 Ti Ni Cr 180		
	293K	193K	83K	293K	123K	77K
	20°C	-80°C	-190°C	20°C	-150°C	-196°C
Limita de curgere $R_{p0,2}$ [MPa]	-	-	-	235	350	390
Rezistența mecanică R_m [MPa]	416	506	788	590	1.180	1.320
Alungirea relativă A_5 [%]	21	16	12	45	40	35
Reziliența KVC [J/cm ₂]	266	10	5	200	150	130

Se observă că odată cu scăderea temperaturii până la 80K (-190°C), rezistența mecanică la rupere prin tracțiune a oțelurilor carbon și slab aliate crește de 1,5...2 ori, iar reziliența se micșorează de circa 10 ori. În schimb la oțelurile inoxidabile austenitice, la aceeași creștere a rezistenței mecanice, alungirea relativă și reziliența scad într-un grad mai mic, adică de 2...2,5 ori.

1.2. Stadiul actual al cercetărilor din străinătate privind aşchiera în condiții de răcire criogenică

1.2.1. Cercetări privind prelucrabilitatea oțelurilor inoxidabile austenitice

În lucrările lor [8] și [30], cercetătorii francezi D. Chateau și I. Lefevre arată deosebit de sugestiv că oțelurile inoxidabile austenitice au o prelucrabilitate scăzută, pentru că prezintă:

1 - **plasticitate ridicată** a masei de bază (austenita reziduală), așa cum reiese și din fig.1.1, unde sunt redate curbele de tracțiune pentru un oțel carbon (OLC 45), un oțel aliat (42 MoCr 11) și un oțel inoxidabil austenitic (din grupa 18-8).

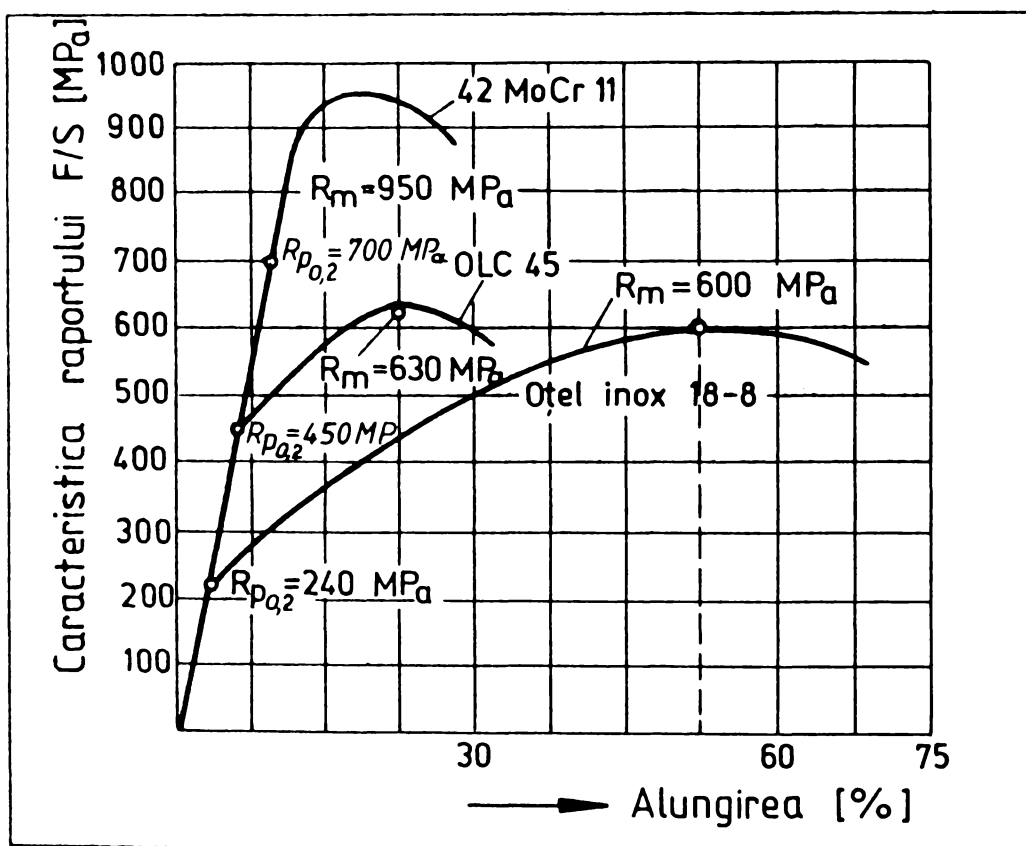


Fig.1.1. Caracteristici mecanice.

Se poate constata că oțelurile inoxidabile austenitice dispun de o capacitate de alungire însemnată în intervalul dintre limita de curgere elastică ($R_{p0.2}$) și cea de rezistență mecanică la rupere prin tracțiune (R_m). Așa se explică de ce la prelucrarea acestor oțeluri apar depuneri frecvente pe tăiș și se formează aşchii de curgere, dificil de evacuat.

2 - **aptitudine mare de ecruisare**, așa cum se poate vedea și din fig.1.2, unde se distinge o diferență foarte netă între oțelurile inoxidabile austenitice și oțelurile carbon, în ceea ce privește ecruisarea lor.

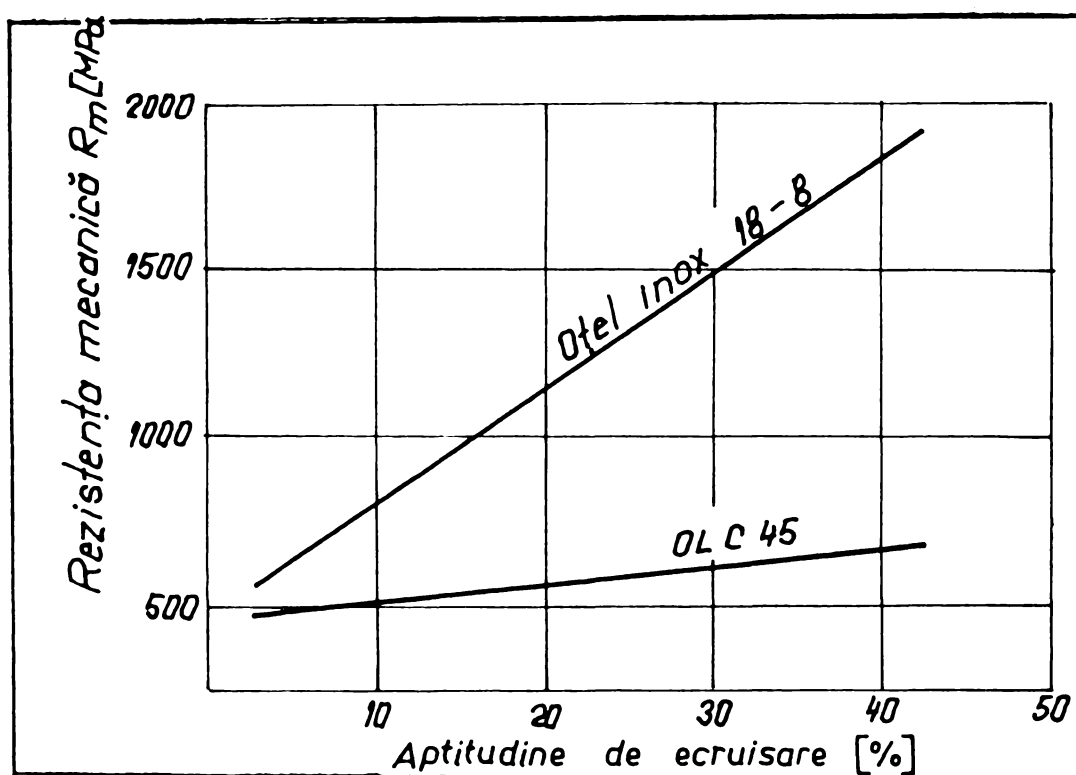


Fig.1.2. Sensibilitatea la ecruisare.

3 - **conductibilitate termică scăzută**, ceea ce implică o evacuare dificilă a căldurii din zona de așchiere și o concentrare a acesteia la vârful sculei, cu influență negativă asupra durabilității ei. Astfel, din fig.1.3, pentru condiții identice de lucru ($f=0,3$ mm/rot., $v=20$ m/min.), se observă o creștere a temperaturii în zona de așchiere de la 410°C - pentru OLC 45, la 500°C - la oțelul austenitic.

Din tabelul 1.3 se poate constata că oțelul austenitic are o conductibilitate termică de 1/4 ori mai mică decât OLC 45, considerat etalon, și un coeficient de dilatare mai mare, influențând negativ precizia de prelucrare, îndeosebi precizia dimensională a piesei.

4 - **coeficient de frecare de alunecare** foarte ridicat ($\mu=0,8$), mult superior celui întâlnit la oțelurile obișnuite ($\mu=0,4$), ceea ce are drept consecință tendința de lipire a

materialului pe fața de degajare a sculei, provocând distrugerea mai rapidă a acesteia.

Tabelul 1.3

Marca oțelului	Conductivitatea termică la 20°C [W/m grad]	Coefficient de dilatare între 20...200°C [W/m grad]
OLC 45	0,140	$1,1 \cdot 10^{-6}$
18-8	0,030	$18,5 \cdot 10^{-6}$

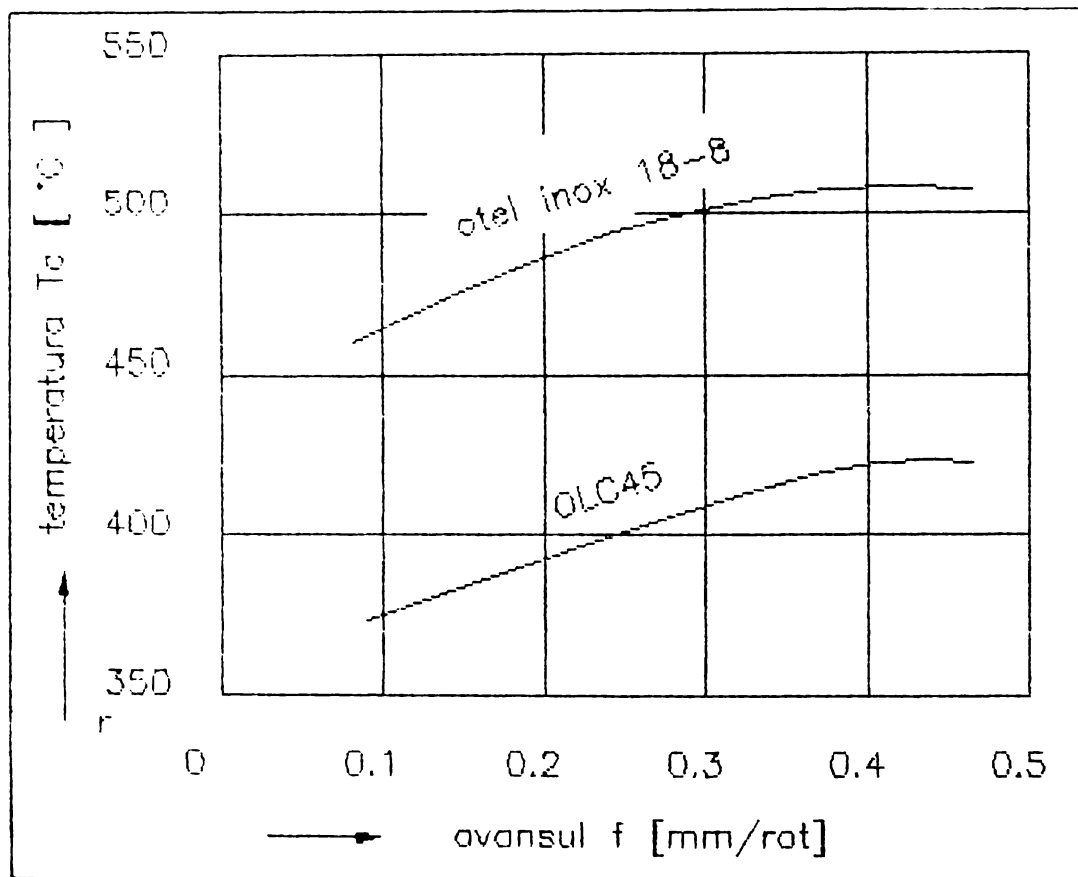


Fig.1.3. Temperatura de așchiere.

Ținând seama de aceste proprietăți specifice, autorii prezintă condițiile optime pe care le recomandă la prelucrarea oțelurilor inoxidabile austenitice din grupa 18-8 (tab.1.4).

Posibilitățile de creștere a prelucrabilității acestor oțeluri sunt:

- ameliorarea prelucrabilității prin adăugarea de fosfor (P), plumb (Pb) și sulf (S);

- îmbunătățirea prelucrabilității prin folosirea unor medii de răcire criogenică (dioxidul de carbon, azotul lichid, etc.).

Tabelul 1.4

Procedeul de prelucrare	Tipul plăcuței	Parametrii geometrici $\alpha - \gamma - \lambda$	Parametrii regimului de așchiere		
			a [mm]	f [mm/rot]	v [m/min]
Strunjire cu plăcuțe CM	P30	5° 10° -4°	3,0	0,40	75...90
	P10	5° 10° -4°	0,5	0,10	110...120
Strunjire cu plăcuțe Rp	Rp3	7° 15° -5°	1,0	0,10	12...20
	Rp3	7° 15° -5°	0,5	0,05	20...30

Mediul de așchiere recomandat este un ulei solubil.

1.2.2. Cercetări privind așchiera în condiții de răcire criogenică cu dioxid de carbon a oțelurilor inoxidabile austenitice

Primele cercetări privind prelucrarea prin așchiere în condiții de răcire criogenică cu dioxid de carbon au fost efectuate de către inginerul american Bartle. El a constatat că influența dioxidului de carbon (CO_2) asupra forței de așchiere (F_c), când se răcește numai piesa de prelucrat, este diferită, în funcție de material [6], [12], [71].

Dacă la prelucrarea prin strunjire a oțelului carbon de construcție (OLC 45), luat ca material etalon, forța principală de așchiere scade, la strunjirea unui oțel inoxidabil austenitic din grupa 18-8 forța principală crește (fig.1.4).

Faptul că în cazul oțelurilor inoxidabile austenitice forțele de așchiere cresc când se utilizează CO_2 nu constituie un impediment, deoarece în final, costul prelucrării - raportat la 1 cm^3 volum de material detașat - este mai mic cu 34%, iar durabilitatea sculei crește de la 100% până la 300%, în funcție de viteza de așchiere.

În ultimii ani [7], [71], [96], firma Convalr Aircraft Co. a experimentat răcirea doar a sculei cu CO_2 , la prelucrarea oțelurilor inoxidabile austenitice. Astfel, s-a constatat că răcirea este eficientă numai pentru scule din oțel rapid (Rp3). Rezultatele obținute sunt

următoarele:

- la operația de găurire, răcirea vârfului burghiului este eficientă numai până la o adâncime de găurire de 130 mm, pentru ϕ 6 mm.

- la operația de frezare a unor canale cu freză deget, durata de prelucrare între două ascuțiri consecutive ale sculei a corespuns unei lungimi de 3 m, față de 1 m la răcirea obișnuită.

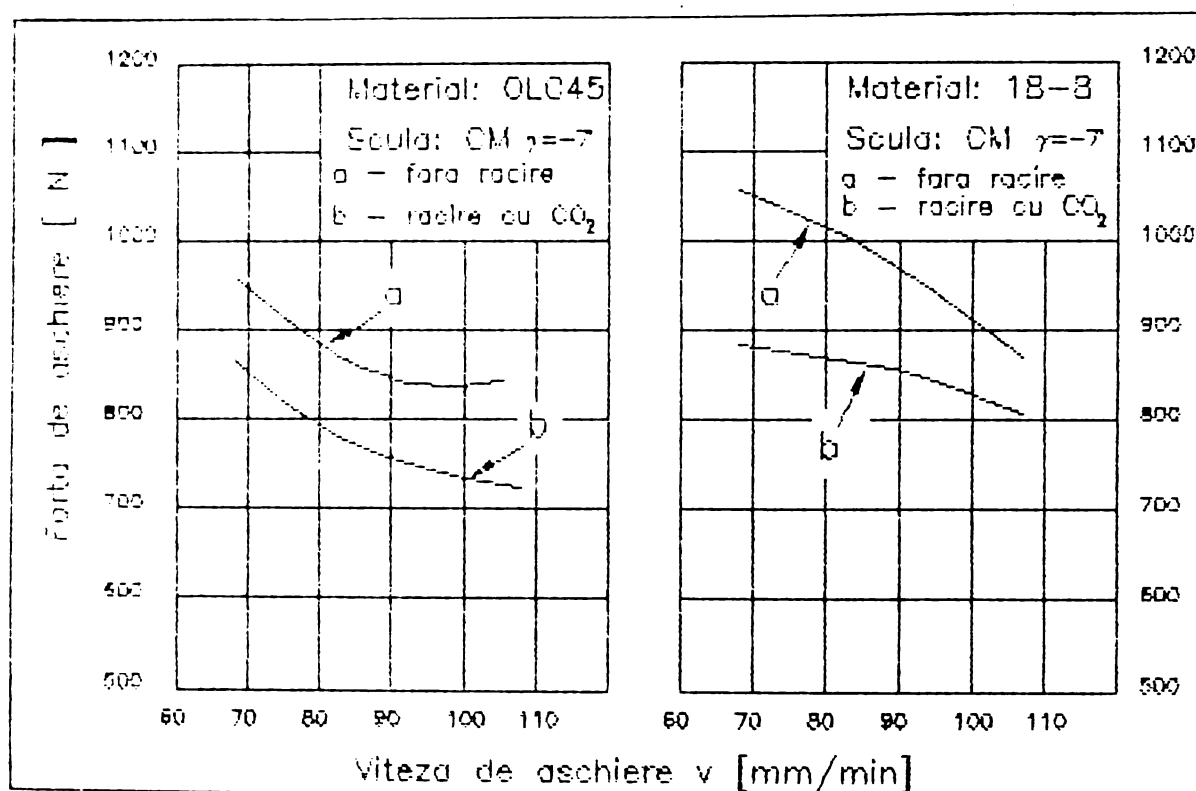


Fig.1.4. Influența răcirii cu CO₂ asupra forței de așchiere.

Specialiștii firmei amintite afirmă că eficiența răcirii criogenice la scule din carburi metalice (CM) este discutabilă.

Cercetări mai recente [71], [96], [98] au arătat totuși că la viteze mari de așchiere (≥ 250 m/min) se obține o creștere importantă a durabilității plăcuțelor din CM, atunci când pe fața de așezare se prelinge un fir subțire de CO₂.

Răcirea atât a piesei cât și a sculei așchietoare a fost experimentată de cercetătorii ruși Sobolev N. P. și Volitov A. M. [66]. Utilizând schema de alimentare cu CO₂ prezentată în fig.1.5, ei au studiat efectele răcirii criogenice la prelucrarea oțelului carbon OLC 45 și a oțelului inoxidabil austenitic K (5 NiCr 180).

În butelia **1** se găsește CO_2 lichefiat sub presiune. La ieșirea din butelie, prin țeava sifon **2** și reductorul de presiune **3**, dioxidul de carbon intră direct în uscătorul cu gel de siliciu **4**, în care este absorbită apa aflată în CO_2 . Jetul de CO_2 este orientat atât pe fața de așezare cât și pe cea de degajare ale sculei **8**, prevăzută cu plăcuța din CM **9**, în zona de așchiere a piesei **10**. Pentru alimentare se folosesc conducte speciale, pe care sunt montate robinetul **5** și distribuitorul **6**. Ajutajul **7** este poziționat la maximum 10 mm de vârful cuțitului.

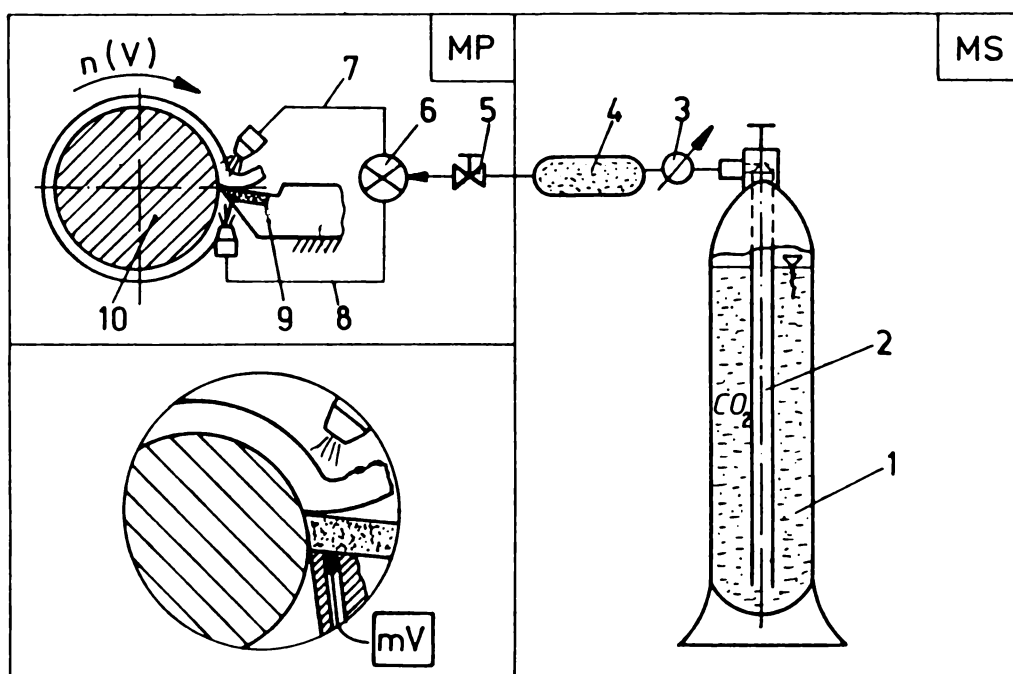


Fig.1.5. Așchiere criogenică cu dioxid de carbon (variantea rusă).

Geometria cuțitului cu plăcuțe VK 8 utilizat este prezentată în tabelul 1.5.

Tabelul 1.5

Geometria sculei	Unghi de degajare	Unghi de așezare	Unghi de atac	Unghi de încinare	Raza la vârf	Lățimea fațetei
Marca oțelului	γ_r [°]	α_r [°]	κ_r [°]	λ_T [°]	r_0 [mm]	b_0 [mm]
OLC 45	15	8	45-90	0	0,5	0,3
K (5NiCr180)	15	12	60-90	0	0,8	0,5

Pentru a determina influența dioxidului de carbon asupra prelucrabilității prin aşchiere a celor două oțeluri, s-au prelucrat semifabricate de dimensiuni $\phi 80 \times 400$ mm, atât prin aşchiere obișnuită, cât și prin aşchiere criogenică.

La aşchiera obișnuită s-a constatat:

1 - oțelul K se deformează foarte mult în timpul aşchierii (plasticitate ridicată!) și datorită acestui fapt gradul lui de ecruisarei este mai mare, având drept rezultat un consum mare de energie și o uzură accentuată a sculei aşchietoare. Din variația microdurității la rădăcina aşchiei s-a constatat că la strunjire aceasta este de 3 ori mai mare la oțelul K decât la oțelul etalon OLC 45.

2 - uzura sculei în cazul prelucrării oțelului K este de 7 ori mai mare decât la prelucrarea oțelului OLC 45, ceea ce duce la o scădere însemnată a durabilității acesteia.

3 - coeficientul de conductibilitate termică a oțelului K este de 2,5 ori mai mic decât la OLC 45, fapt ce îngreunează evacuarea căldurii de la vârful sculei.

La aşchiera în condiții de răcire cu CO_2 , rezultatele cercetărilor au evidențiat următoarele aspecte:

1 - temperatura în zona de aşchiere scade cu 150-200°C față de aşchiera obișnuită, dar rămâne de 1,5-2 ori mai mare la oțelul K decât la oțelul OLC45. Acest fapt arată influența importantă pe care o au deformarea plastică și frecarea asupra căldurii dezvoltate în cazul prelucrării oțelului K.

2 - coeficientul de frecare pe fața de degajare crește, lucru ce se remarcă din „răsuclirea” mai redusă a aşchillor.

3 - durabilitatea plăcuței aşchietoare crește de 3-6 ori la prelucrarea oțelului K, față de aşchiera fără răcire.

În urma experiențelor făcute, cercetătorii ruși au stabilit următoarele relații de calcul a vitezei economice de aşchiere la strunjirea oțelului inoxidabil austenitic K (5 Ni Cr 180):

a) aşchiere obișnuită (fără răcire):

$$v = \frac{79}{T^m \cdot a^{0.4} \cdot f^{0.29}} \text{ [m/min] ,} \quad (1.1)$$

în care: T =durabilitatea plăcuței [min.];
 a =adâncimea de aşchiere [mm];

f =avansul de lucru [mm/rot.];

$m=0,25$.

b) aşchiere criogenică cu CO_2 :

$$v = \frac{162}{T^m \cdot a^{0,4} \cdot f^{0,29}} \text{ [m/min] ,} \quad (1.2)$$

În care: $m=0,33$.

Abaterile vitezelor economice reale față de cele calculate sunt sub 10%.

Analizând gradul de netezime și de ecruisare a suprafeței prelucrate, autorii au concluzionat că:

- pentru viteze de aşchiere $v > 40$ m/min., se obține aceeași netezime, atât la prelucrarea criogenică, cât și la aşchiera fără răcire.

- pentru viteze de aşchiere $v < 40$ m/min., netezimea crește când se utilizează răcirea cu CO_2 , fapt explicabil prin crearea unor condiții de temperatură și presiune la care depunerile pe tăiș nu sunt favorizate.

Microduritatea suprafeței prelucrate este mai mică în cazul strunjirii criogenice, ceea ce dovedește că deformațiile plastice ale materialului scad. Valorile de microduritate [daN/mm^2] obținute sunt prezentate în tabelul 1.6.

Tabelul 1.6

Marca oțelului	HV Înaintea prelucr.	HV după prelucr. (fără răcire)	HV după prelucr. (răcire cu emulsie)	HV după prelucr. (răcire cu CO_2)	Creșterea de microduritate
OLC 45	220	310	238	193	41%
K	217	490	267	219	125%

Concluzia care se desprinde din cercetările efectuate este aceea că prin aşchiera în condiții de răcire cu dioxid de carbon se mărește capacitatea de producție la prelucrarea oțelurilor inoxidabile austenitice, ceea ce reprezintă principalul avantaj.

1.2.3. Cercetări privind aşchiera în condiții de răcire criogenică cu azot lichid a oțelurilor inoxidabile austenitice

Cercetările efectuate până în anul 1978 au evidențiat, fără excepție, îmbunătățirea prelucrabilității prin aşchiere a materialelor studiate în condiții de răcire criogenică cu azot lichid (N_2L) [16], [22], [44], [71], [74]. Astfel, specialiștii de la firma americană „Grumann Aircraft Engineering Co.” au arătat că la frezarea unor canale la un aliaj de aluminiu cu o freză deget de diametru ϕ 16 mm, prin folosirea azotului lichid, lungimea de uzinare, corespunzătoare durabilității frezei, a fost de 6 m, față de 1,78 m, cât s-a obținut la răcirea obișnuită [37], [71], [80]. La strunjirea aceluiași material, raportul vitezelor de aşchiere ($v_{\text{azot}}/v_{\text{ulei}}=1,78$) a fost mai bun decât cel de la frezare ($v_{\text{azot}}/v_{\text{ulei}}=1,22$). Calitatea suprafeței prelucrate, în cazul răcirii cu azot, a fost superioară celei obținute în cazul răcirii cu ulei.

În anii '80, cercetătorii japonezi Kumagai S. și Uehara K., de la Universitatea din Tokyo, au făcut un studiu minuțios asupra efectului de răcire al azotului pentru următoarele tipuri de materiale: oțel carbon marca OLC 20 și oțel inoxidabil austenitic (grupa 18-8) [29].

Strunjirea criogenică s-a efectuat pe un strug paralel folosind o instalație a cărei schemă este redată în fig.1.6.

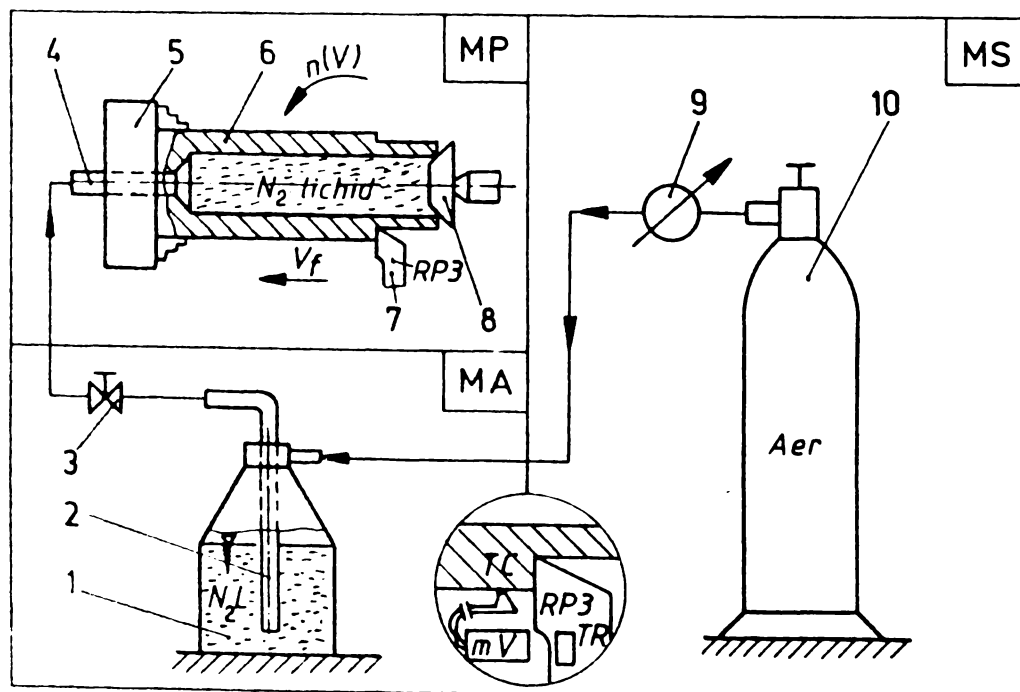


Fig.1.6. Aşchiere criogenică cu azot lichid (variantă japoneză).

Azotul lichid din vasul special Dewar **1** ajunge prin țeava sifon **2**, robinetul **3**, conducta de cupru **4** și piesa tubulară **6** în zona de așchiere. Piesa este prinsă în universalul **5** și vârful păpușii mobile **8**, iar pe cuțitul **7** - din oțel rapid Rp 3 - sunt lipite timbre tensometrice. Termocuplul din cupru-constantan a fost în contact permanent cu suprafața de prelucrat.

După fiecare prelucrare s-a studiat:

- uzura sculei așchietoare;
- forma așchiilor;
- calitatea suprafeței prelucrate.

Dependența dintre temperatura piesei și temperatura dezvoltată în zona de așchiere pentru materialele studiate este redată în fig.1.7.

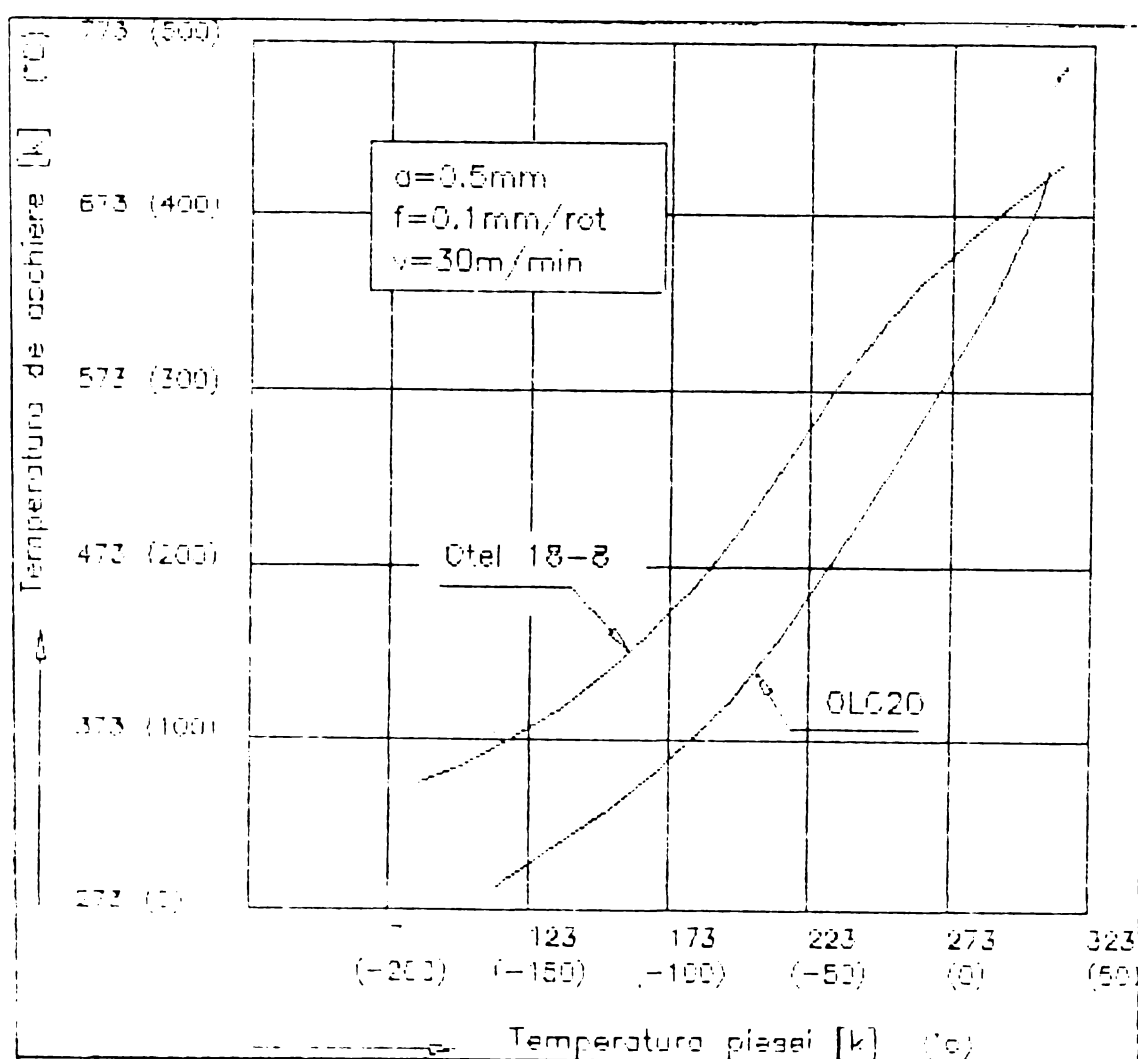


Fig.1.7. Dependența temperatură de așchiere - temperatură de răcire.

Variațiile de temperatură sunt neliniare, datorită existenței depunerilor pe tăiș. Dintre cele două materiale, oțelul 18-8 dezvoltă o temperatură mai înaltă în zona de așchiere, și are o înclinație (pantă) a curbei mai mică decât OLC 20.

Diagrama de variație a temperaturii din zona de așchiere, pentru diferite viteze de așchiere la oțelul inoxidabil 18-8, este redată în fig.1.8.

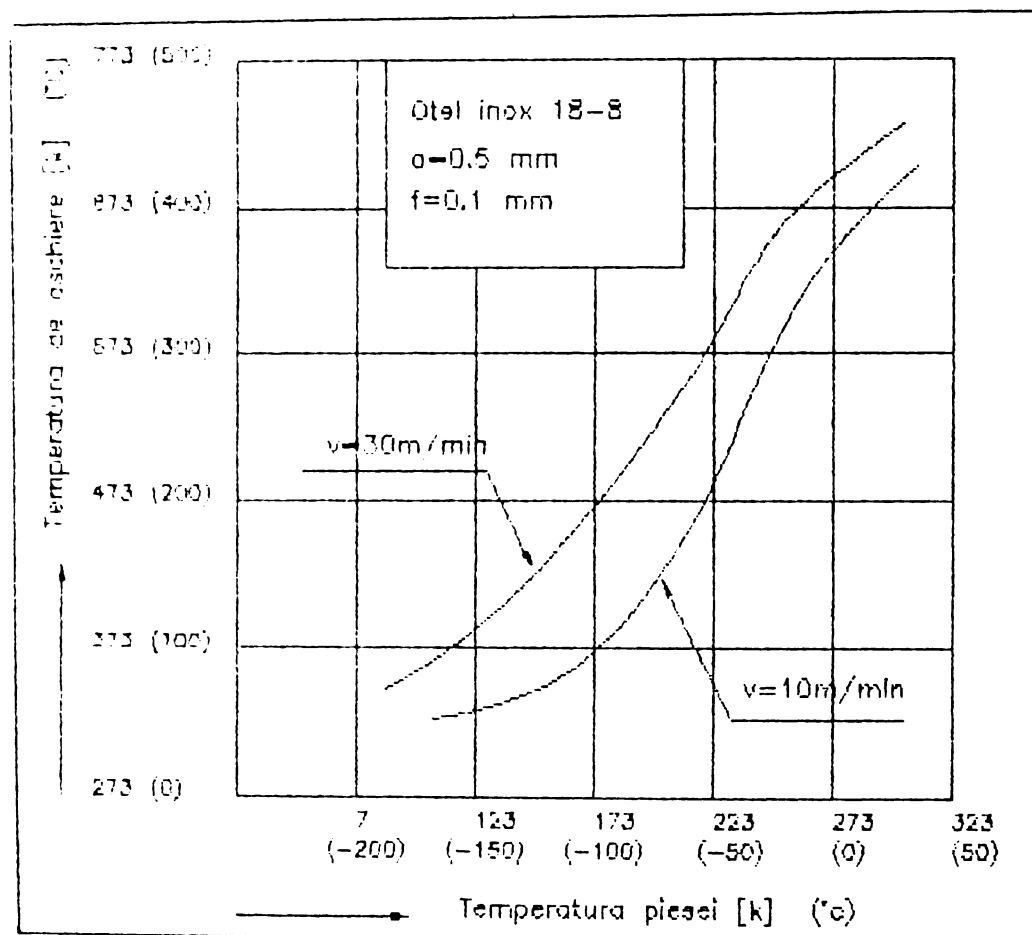


Fig.1.8. Dependența temperatură - viteză de așchiere.

Se constată că la viteze mici de așchiere ($v=10$ m/min.), datorită răcirii piesei, temperatura de așchiere scade mai accentuat, iar așchile rezultate sunt continue, pentru că oțelul inoxidabil nu prezintă tendințe de fragilizare la temperaturi joase. Se remarcă doar o micșorare a curburii așchiilor, fenomen atribuit reducerii frecării pe fața de degajare, între sculă și așchia înlăturată.

Influența temperaturii piesei asupra uzurii pe fața de așezare, redată în fig.1.9, a scos în evidență o comportare diferită a celor două materiale.

La prelucrarea oțelului carbon, uzura pe fața de așezare scade până la 123 K, după care parametrul VB crește datorită fragilizării excesive a oțelului carbon și a încărcării mecanice tot mai accentuate a vârfului sculei din oțel rapid. În schimb, la oțelul inoxidabil, uzura sculei crește odată cu scăderea temperaturii piesei de prelucrat.

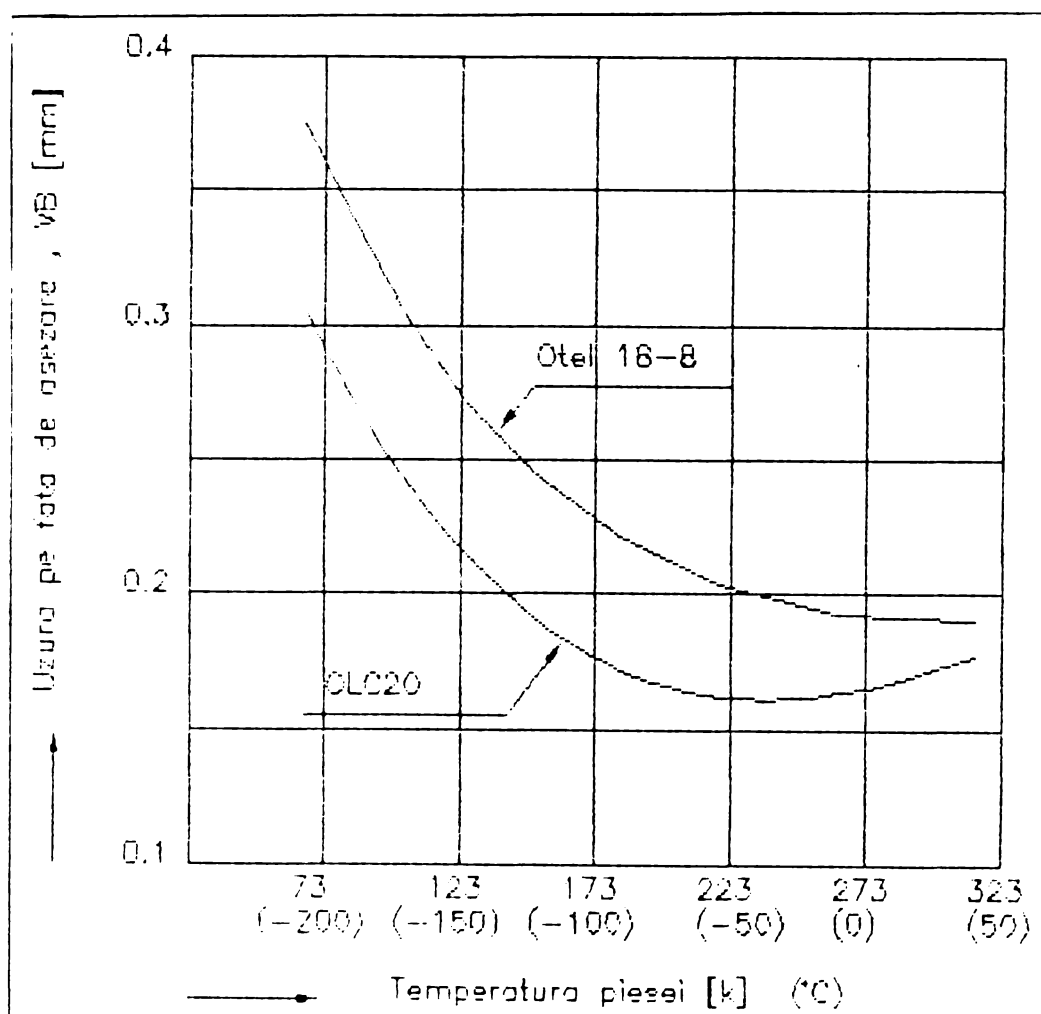


Fig.1.9. Dependența uzură - temperatură de răcire.

Măsurarea forței principale de așchiere (F_c) cu ajutorul unui dinamometru a dus la concluzii diferite privind influența materialelor studiate asupra acesteia, așa cum se observă din fig.1.10.

Astfel, la prelucrarea oțelului carbon se constată o descreștere a forței până în jurul temperaturii de 223 K, după care ea rămâne constantă, fenomen datorat fragilizării la temperaturi joase a oțelului carbon. La prelucrarea oțelului inoxidabil, se constată o comportare opusă a acestuia. Până la temperaturi de 223 K, forța de așchiere rămâne

constantă, după care aceasta crește. Această comportare poate fi atribuită creșterii tensiunilor de forfecare la temperaturi joase.

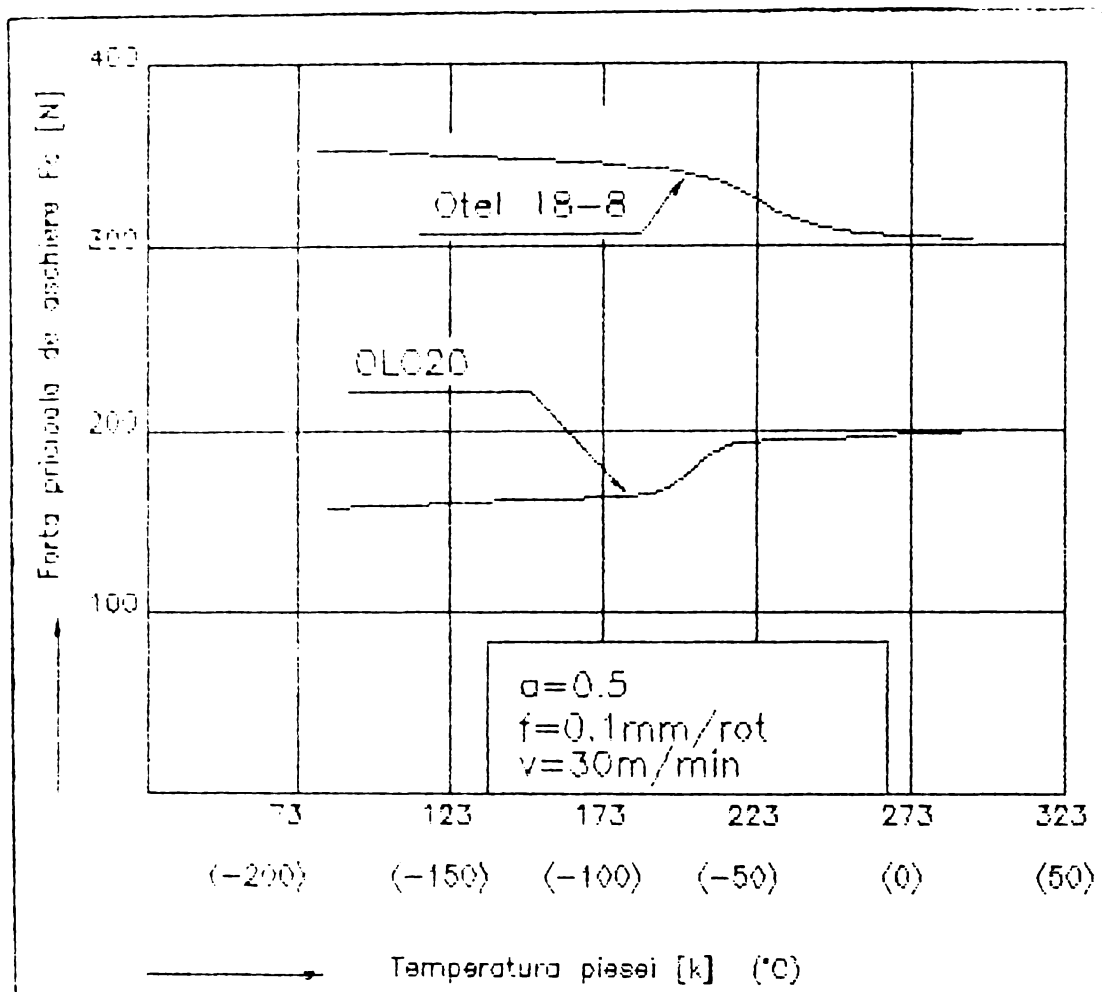


Fig.1.10. Dependența forță de așchiere - temperatură de răcire.

Cercetătorii japonezi afirmă că rugozitatea suprafeței, în condițiile răcirii cu azot lichid scade (calitate mai bună) - atât la oțelul carbon cât și la cel inoxidabil austenitic [74].

În finalul lucrării [29], autorii japonezi afirmă că la prelucrarea prin așchiere în condiții de răcire cu azot lichid se manifestă tendințe complexe, dependente în principal de tipul materialului de prelucrat, materialul sculei și geometria acesteia, precum și de condițiile concrete de răcire. De aceea, este necesară optimizarea tehnologiei de prelucrare mecanică prin așchiere în condiții de răcire criogenică.

1.3. Stadiul actual al cercetărilor efectuate în țară privind aşchiera în condiții de răcire criogenică

Și în țara noastră au fost și sunt preocupări deosebite privind prelucrarea prin aşchiere în condiții de răcire criogenică. În cadrul acestor cercetări, în anii '80, rezultate însemnate au fost obținute la [9], [17], [19], [47], [70], [71], [72] [77]:

- **Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca**, în cadrul Catedrei T.C.M., de un colectiv condus de Prof. dr. ing. Iosif Tăpălagă;

- **Universitatea Tehnică din Timișoara**, la Facultatea de mecanică, de un colectiv condus de Conf. dr. ing. Ion Mitelea, din care a făcut parte și autorul.

1.3.1. Cercetări privind aşchiera criogenică efectuate la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca

La Catedra T.C.M. a Universității s-au efectuat cercetări privind rabotarea în condiții de răcire criogenică a oțelului inoxidabil 7 TiNiCr 180 și a oțelului carbon de îmbunătățire OLC 45, folosind ca mediu de răcire azotul lichid [17], [18], [19], [20], [38], [39], [47], [58], [59], [60], [61], [63], [70], [71], [72], [73], [77].

Schema instalației de aşchiere prin rabotare pe șeping utilizată de colectiv este prezentată în fig.1.11.

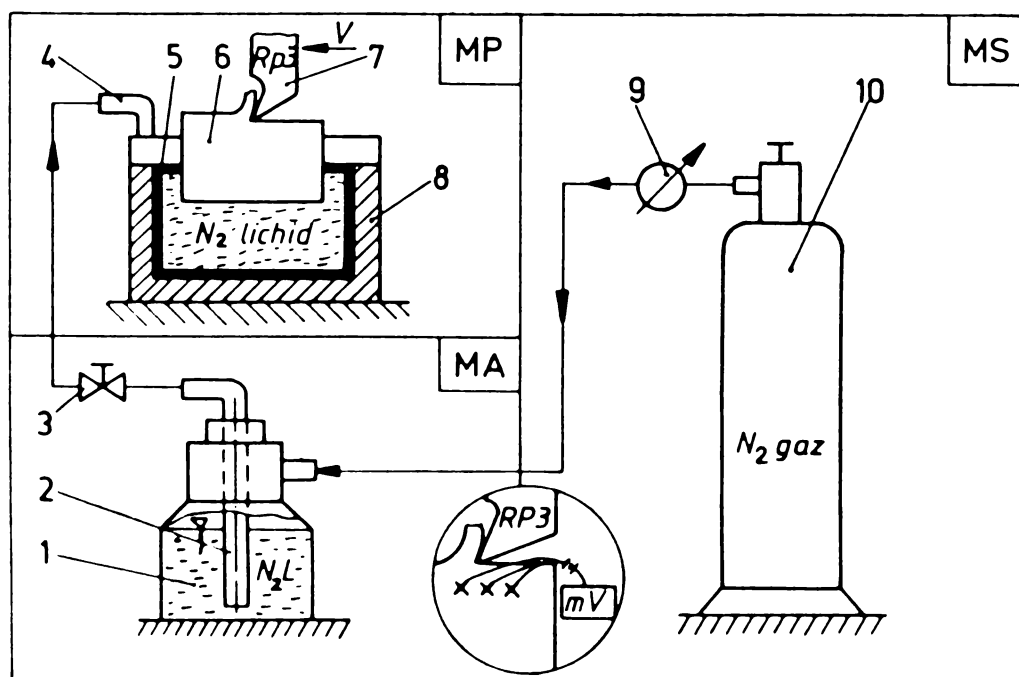


Fig.1.11. Aşchiera criogenică cu azot lichid (variantea România - Cluj-Napoca).

Pentru rabotarea cu cușitul 7, piesa 6 a fost montată într-un dispozitiv special 8, care permite răcirea ei în azot lichid, având în același timp și posibilitatea întreruperii bruște a procesului de așchiere. Vasul Dewar 1, presurizat la 0,2 atm cu ajutorul tubului cu N₂ gaz sub presiune 10 și a reductorului 9, asigură alimentarea cu azot lichid a rezervorului 5 prin sifonul 2. Temperatura piesei s-a măsurat cu ajutorul unui milivoltmetru și a unui traductor. Materialele supuse prelucrării au fost mai întâi încercate la tracțiune, atât la temperatură ambiantă, cât și la temperatura azotului lichid, pentru a se observa comportarea acestora în condiții de frig adânc. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 1.7.

Tabelul 1.7

Caracteristici	Rezistența mecanică Rm [Mpa]		Alungirea relativă A5 [%]	
	273 K (20°C)	77 K (-196°C)	273 K (20°C)	77 K (-196°C)
Material				
OLC 45	707,7	1.061,6	21,54	11,08
7 TINICr 180	566,2	1.380	60	53,8

Se observă că rezistența la rupere prin tracțiune a oțelului inoxidabil crește foarte mult (de peste 2,4 ori), în schimb alungirea relativă scade.

Cercetările au fost axate pe influențele răcirii piesei asupra procesului de așchiere, și s-a studiat influența răcirii asupra:

- 1) coeficientului de contracție al așchiei;
- 2) unghiului de forfecare;
- 3) forței specifice de așchiere;
- 4) durabilității sculei așchietoare;
- 5) calității suprafeței așchiate.

Experiențele efectuate la rabotarea în condiții de răcire criogenică cu azot lichid au evidențiat o micșorare a coeficientului de contracție, obținându-se - după prelucrarea datelor pe calculator - următoarele relații de calcul:

$$K_{I_{OLC45}} = 10^{-0.33} \cdot \theta^{0.43} \cdot \gamma^{-0.341} \cdot v^{-0.067} \cdot a^{-0.069} ; \quad (1.3)$$

$$K_{I_{17} \text{ TiNiCr180}} = 10^{-1,469} \cdot \theta^{0,916} \cdot \gamma^{-0,301} \cdot v^{-0,069} \cdot a^{-0,087}, \quad (1.4)$$

în care: θ - temperatura de răcire [K];
 γ - unghiul de degajare al sculei [°];
 v - viteza de aşchiere [m/min.];
 a - adâncimea de aşchiere [mm].

Analizând aceste relații, se constată că micșorarea temperaturii piesei duce la scăderea coeficientului de contracție - mai pronunțată la OLC45. Se confirmă ipoteza că la o răcire intensă a piesei particulele de material trec din starea tenace la starea fragilă, și - ca urmare - se diminuează deformațiile plastice ce însoțesc procesul de aşchiere, reducându-se în final consumul de energie.

Din microfotografiile rădăcinii aşchiei, obținute prin întreruperea bruscă a procesului, se observă că unghiul de forfecare se mărește sensibil la oțelul inoxidabil - de la 9° la 19°.

Pentru măsurarea forței specifice de aşchiere s-a utilizat un dinamometru rezistiv cu element elastic tip bară. Răbobarea s-a efectuat cu un cuțit având plăcuță din Rp 3, fixată mecanic cu $\gamma=10^\circ$ pentru OLC 45, respectiv $\gamma=16^\circ$ pentru oțelul inoxidabil. Viteza de aşchiere a fost $v=2,5$ m/min., atât la răcirea cu emulsie cât și la răcirea cu azot lichid. Variația forței specifice de aşchiere, în funcție de grosimea aşchiei, este redată în fig.1.12.

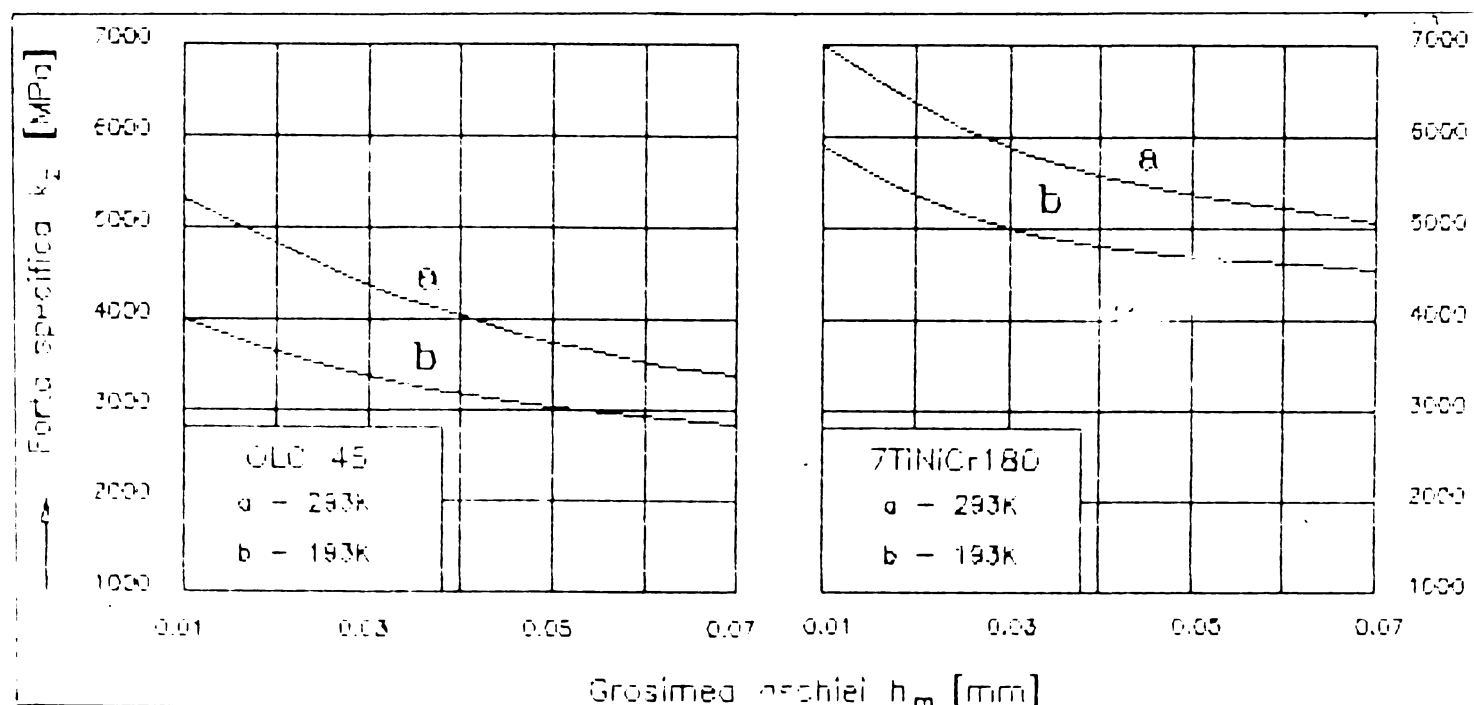


Fig.1.12. Variația forței specifice de aşchiere.

La ambele oțeluri se remarcă o micșorare a forței specifice la răcirea criogenică, față de răcirea cu emulsie. Tendința este mai accentuată în domeniul așchiilor subțiri ($h < 0,05$ mm), unde deformațiile plastice sunt mai mari, conducând la creșterea consumului de energie.

Valorile înregistrate au fost prelucrate pe calculator și - pentru o secțiune de așchie de 1mm^2 - în condiții de răcire cu azot lichid, s-au obținut următoarele relații:

- pentru OLC 45:
$$K_c = 10^{3,245} \cdot h^{-0,176} \text{ [Mpa] ;} \quad (1.5)$$

- pentru 7 TiNiCr 180:
$$K_c = 10^{3,529} \cdot h^{-0,115} \text{ [Mpa] ;} \quad (1.6)$$

în care: k_c = forța specifică de așchiere [MPa];

h = grosimea așchii [mm].

Cercetările efectuate la operația de rabotare a oțelului 7 TiNiCr 180, cu un cuțit din oțel rapid Rp3 au evidențiat, la viteze mici de așchiere ($v=2,5$ m/min.), un spor de durabilitate de 1,5 ori mai mare la folosirea azotului lichid, comparativ cu răcirea cu emulsie (fig.1.13) [17], [19], [71]. Drept criteriu de uzură s-a considerat mărimea $VB=0,2$ mm, pe fața de așezare, conform STAS 12046/1-81.

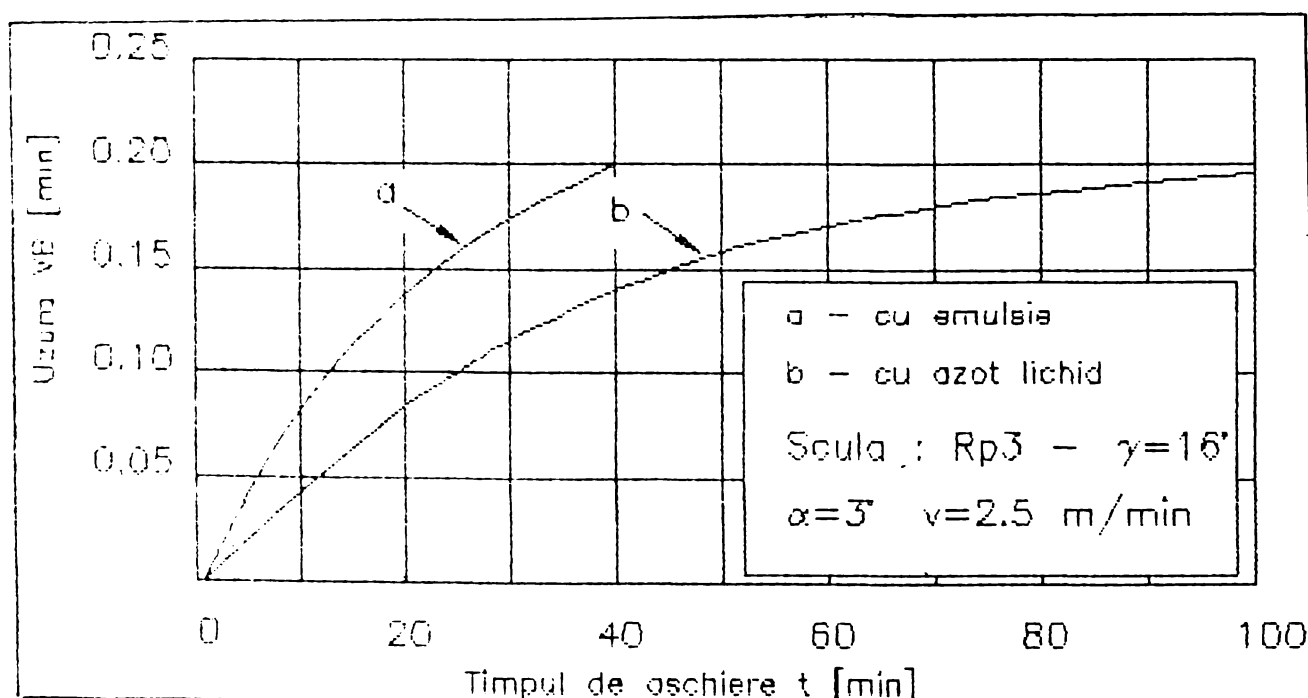


Fig.1.13. Variația uzurii în timp.

A fost studiată de asemenea influența mediului criogenic de răcire asupra procesului de așchiere pentru grosimi mici de așchiere, specifice operațiilor de finisare. Comportarea celor două materiale a fost diferită. Astfel, la prelucrarea oțelului carbon de îmbunătățire OLC 45, prin răcirea piesei la 173 K (-100°C), rugozitatea suprafeței s-a înrăutățit, datorită fragilizării puternice a materialului. Însă, până la 223 K (-50°C), rugozitatea s-a îmbunătățit, fenomen legat de diminuarea depunerilor pe tăiș. La prelucrarea oțelului inoxidabil austenitic 7 TiNiCr 180, sunt îmbunătățiri evidente ale netezimii suprafeței prelucrate (fig.1.14) [70], [71], [72].

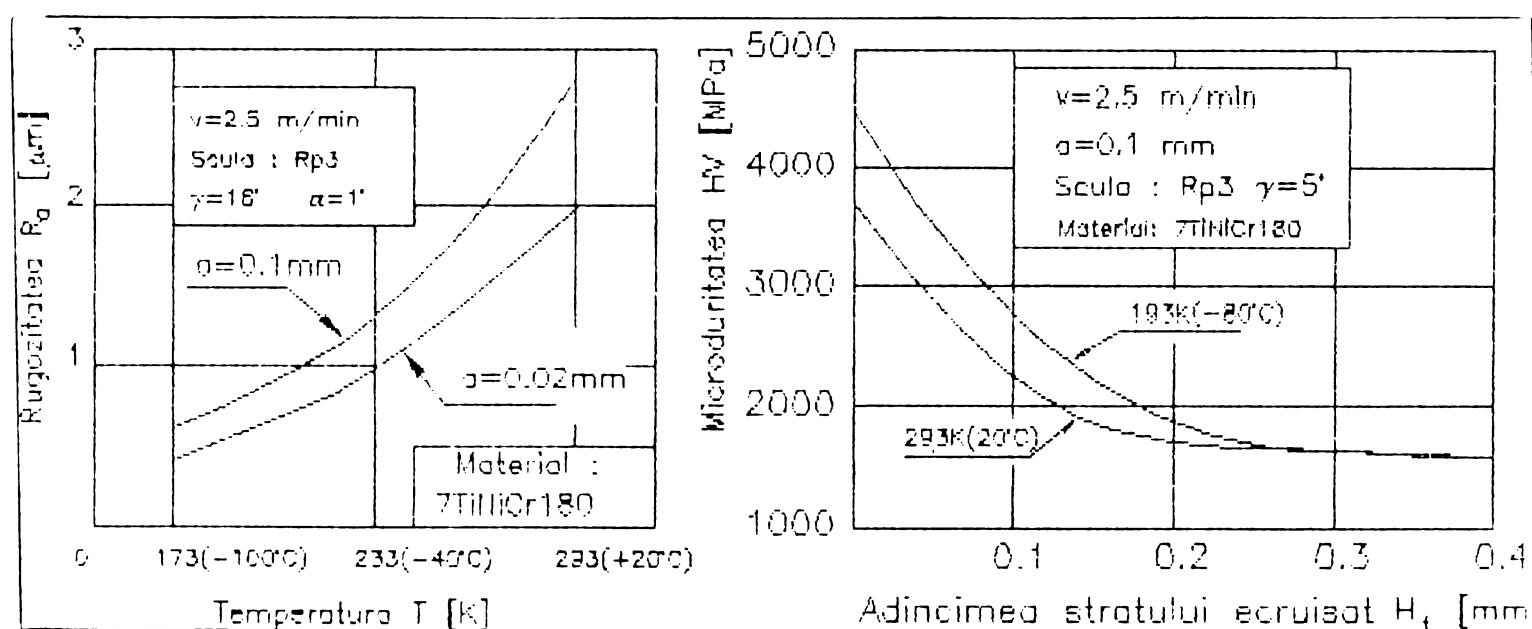


Fig.1.14. Variația rugozității și microdurității.

Se remarcă totodată că microduritatea stratului superficial la o adâncime $H_t=0,05$ mm a crescut cu 25% în cazul răcirii cu azot lichid față de așchiera obișnuită, la temperatura ambiantă. Durificarea stratului superficial, în condiții de răcire criogenică, se explică prin transformarea parțială a austenitei reziduale în martensită, sub influența temperaturii scăzute.

Concluziile și aprecierile prezentate sunt valabile pentru condiții de răcire criogenică cu azot lichid între 173-293 K, cu viteze de așchiere $v=2,5...10$ m/min. și o grosime a așchiei $h=0,02...0,1$ mm [17], [20], [71].

1.3.2. Cercetări privind aşchiera criogenică efectuate la Universitatea Tehnică din Timișoara

Modul în care condițiile de răcire criogenică influențează procesul de aşchiere la găurire a fost studiat la Facultatea de Mecanică din Timișoara, în cadrul laboratorului de Bazele aşchierii și generării suprafețelor. Prelucrarea alezajelor, indiferent de materialul prelucrat, este mai dificilă decât prelucrarea arborilor, datorită următoarelor cauze [39], [40].

- rigiditate scăzută a sculei;
- evacuare dificilă a aşchiilor;
- răcire cu posibilități reduse.

Dificultăți și mai mari apar la prelucrarea oțelurilor inoxidabile, datorită fenomenului de depunere pe tăiș și evacuării dificile a căldurii din zona de aşchiere. De aceea, s-a urmărit îmbunătățirea prelucrabilității oțelului inoxidabil austenitic 10 TiNiCr 180, prin găurire în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, folosind o instalație a cărei schemă este redată în fig.1.15 [38], [58], [59], [60], [61], [63].

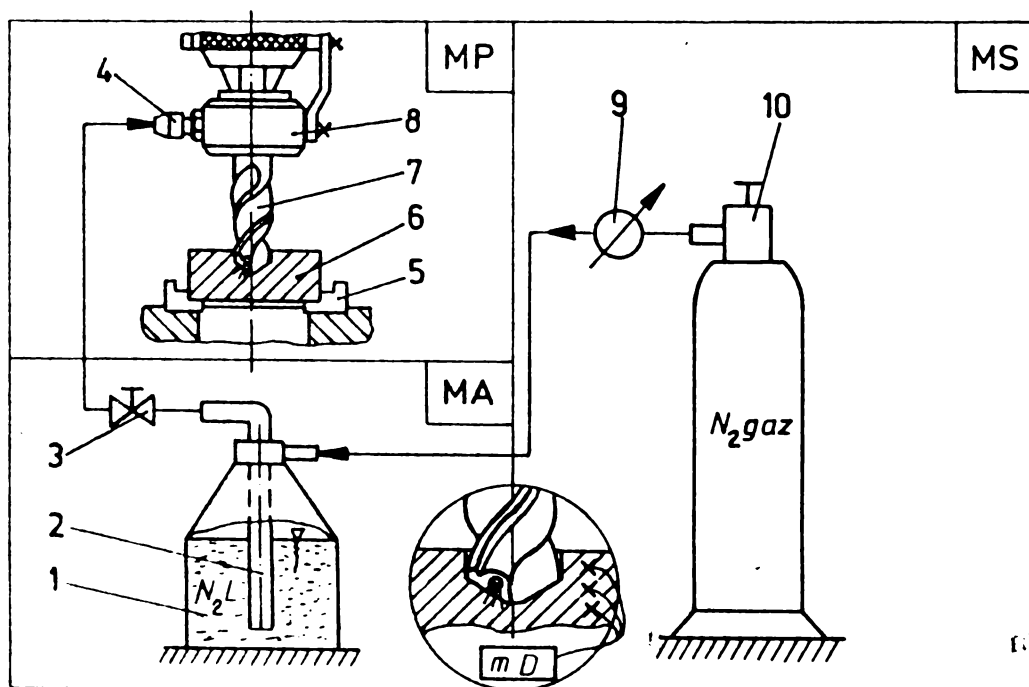


Fig.1.15. Aşchiera criogenică cu azot lichid (varianta România - Timișoara).

Piesa de prelucrat **6** este fixată în universalul dispozitivului **5**, montat pe masa mașinii de găurit G16, care asigură măsurarea momentului de torsiune și a forței axiale. Burghiul spiral **7** este prevăzut cu un canal interior central, care comunică - în zona de așchiere - cu două canale elicoidale, prin care se aduce azotul lichid în zona de așchiere. Presurizarea mediului criogenic se realizează de la vasul de stocare **1** prin țeava-sifon **2**, conducta de transfer **4**, robinetul manual **3** și manșonul special **8**. Acesta este format dintr-o incintă circulară, prin care se distribuie azotul lichid, la orificiul central al burghiului. Presiunea necesară pentru vehicularea azotului lichid se asigură de la butelia **10** de azot-gaz sub presiune, prin reductorul **9**.

Folosindu-se burghie elicoidale de la ϕ 5 la ϕ 14 mm, din oțel rapid Rp3, s-au analizat trei variante de prelucrare:

- a) găurire fără lichid de răcire;
- b) găurire cu răcire cu emulsie 20%;
- c) găurire în condiții de răcire criogenică cu azot lichid.

Introducerea azotului lichid s-a realizat pe direcție axială și - experimental - s-au determinat forța axială și momentul de așchiere, calitatea suprafeței prelucrate și indicatorul de prelucrabilitate (numărul de găuri) pentru găurirea cu viteză de avans constantă.

După măsurarea forței axiale și a momentului de așchiere și prelucrarea datelor, s-au obținut variațiile din fig.1.16 [38], [59], [60].

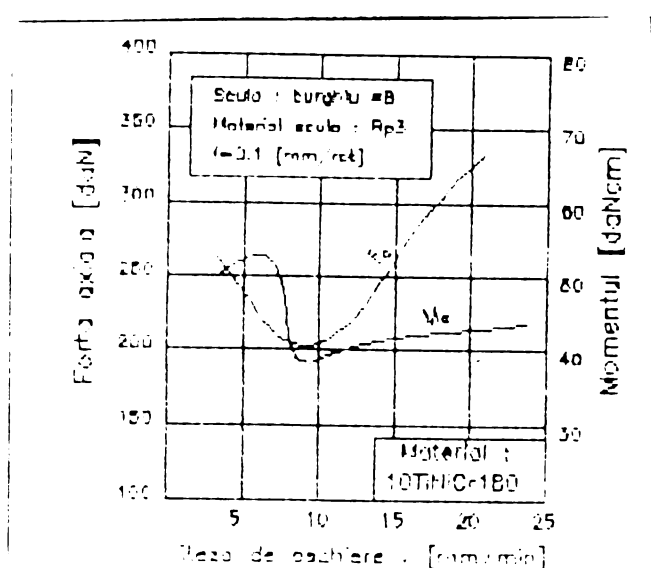


Fig.1.16. Forța axială și momentul de torsiune la găurire.

Din analiza graficului se desprind următoarele aspecte:

- la viteze de aşchiere cuprinse între 7 și 11 m/min., valorile forței axiale și ale momentului de aşchiere sunt minime;

- odată cu creșterea vitezei de aşchiere, se constată o influență favorabilă a azotului lichid asupra procesului de aşchiere, prin reducerea forței axiale și a momentului cu 10-20%. Se confirmă că aşchiera criogenică este mai efecace la viteze mai mari de aşchiere, unde încărcarea termică a sculei este mai mare.

Influența mediului criogenic și a vitezei de aşchiere asupra calității suprafeței obținute prin găurire este prezentată în fig.1.17 [38], [62], [63].

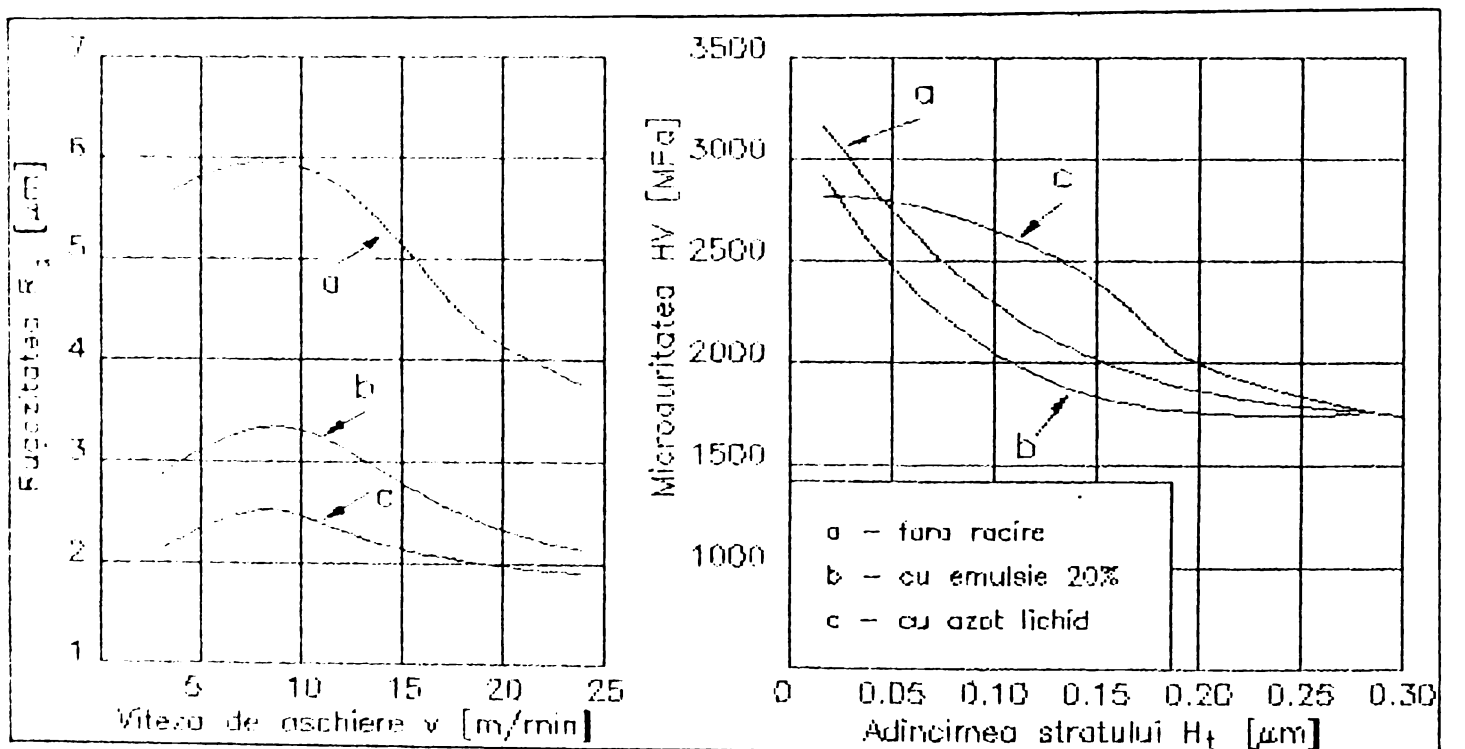


Fig.1.17. Rugozitatea și microduritatea la găurire.

Se constată că folosirea azotului lichid la găurire are o influență pozitivă asupra rugozității, în special la viteze mici de aşchiere. Fenomenul se explică prin influența pe care o are azotul lichid asupra deformațiilor plastice și a modului de evacuare a aşchiilor ce se formează.

Din variația microdurității în adâncimea stratului superficial se evidențiază o creștere

mai mare a durtății în cazul folosirii azotului lichid, însă grosimea totală a straturilor modificate rămâne constantă, indiferent de condițiile de răcire. Aceasta se explică prin faptul că mediul criogenic nu influențează cantitatea de căldură produsă prin așchiere, ci doar felul transmiterii ei.

Analizând duritatea burghiilor prin **metoda de găurire cu viteză de avans constantă** și luând drept indicator numărul de găuri executate cu același burghiu (de diametru $\phi 8$ mm), pe o adâncime de 25 mm, până în momentul în care forța axială crește cu 30%, se pot face următoarele aprecieri:

- la găurirea fără lichid de răcire s-au executat 8 găuri, iar forța axială a crescut de la 248 la 329 daN;

- la găurirea cu emulsie 20%, numărul găurilor executate s-a mărit la 15, iar forța axială a crescut de la 223 la 298 daN;

- la găurirea în condiții de răcire criogenică, au fost executate 32 de găuri, iar forța axială a ajuns la 300 daN.

Se poate concluziona că la găurirea oțelurilor inoxidabile austenitice, în condiții de răcire criogenică, se produce o scădere a forței axiale și a momentului de torsiune cu 10-20%, calitatea suprafeței prelucrate se îmbunătățește, iar durabilitatea burghiilor crește de 2...4 ori. Prin urmare, așchiera în condiții de răcire criogenică are efecte pozitive atât asupra prelucrabilității oțelurilor inoxidabile austenitice, cât și asupra capacității de așchiere a sculelor din oțel rapid.

CAPITOLUL II

INSTALAȚIA DE RĂCIRE CRIOGENICĂ ȘI APARATURA DE CERCETARE

2.1. Instalația de răcire criogenică cu azot lichid

2.1.1. Elemente tehnice specifice unei instalații de răcire criogenică

Pentru aplicarea tehnologiei de prelucrare mecanică prin așchiere, în condiții de răcire criogenică, este necesară o instalație specială, care să asigure aducerea mediului criogenic în zona de așchiere, sub formă de lichid și la un anumit debit, care să corespundă unui grad de răcire impus. Structura și complexitatea instalației depind de [9], [10], [71]:

- a) natura mediului criogenic;
- b) soluția de răcire aleasă.

La prelucrarea mecanică prin așchiere se evidențiază trei variante de răcire [102]:

- 1 - răcirea criogenică numai a plesii;
- 2 - răcirea criogenică numai a sculei;
- 3 - răcirea criogenică a piesei și a sculei simultan.

Răcirea criogenică numai a plesii (fig.2.1) se realizează prin pulverizarea mediului criogenic spre fața de degajare a sculei, după direcția **A**, în zona de formare a așchiilor - metoda recomandabilă a se utiliza doar atunci când se prelucrează materiale cu prelucrabilitate redusă, de regulă moi, cum sunt oțelurile inoxidabile austenitice [12], [78].

Răcirea criogenică numai a sculei (fig.2.2) se poate realiza fie prin presurizarea mediului criogenic spre fața de așezare, după direcția **B**, fie - mult mai eficace - prin inundarea feței de așezare cu lichid prin canale practicate sub plăcuța așchietoare (direcția **C**). Metoda se recomandă îndeosebi la prelucrarea cu scule care au partea activă din oțel rapid (Rp3).

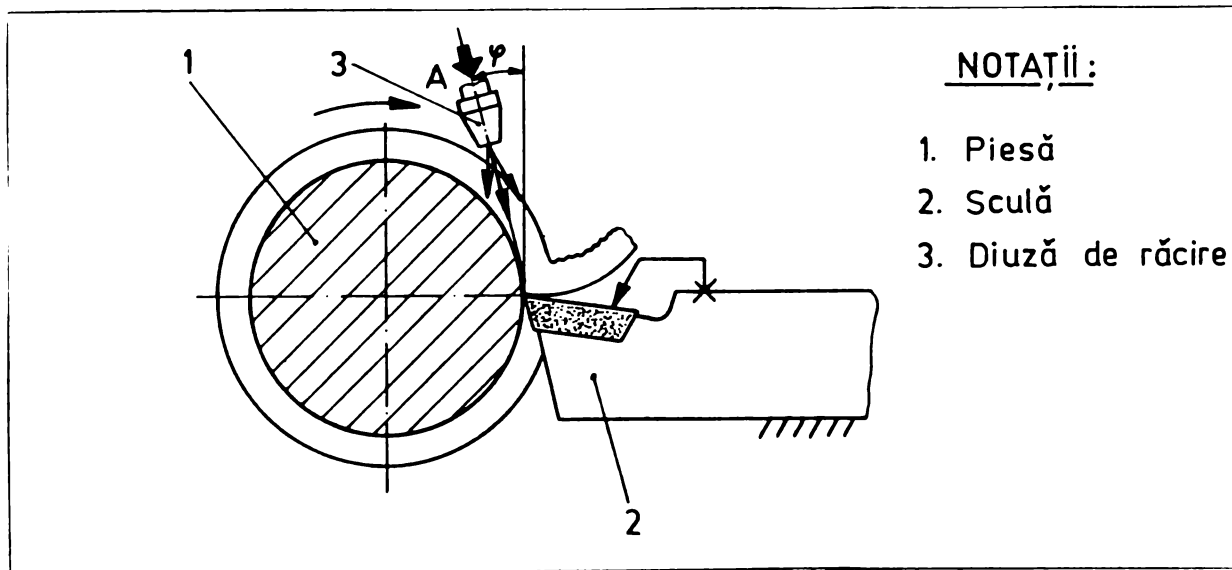


Fig.2.1. Răcirea criogenică numai a piesei.

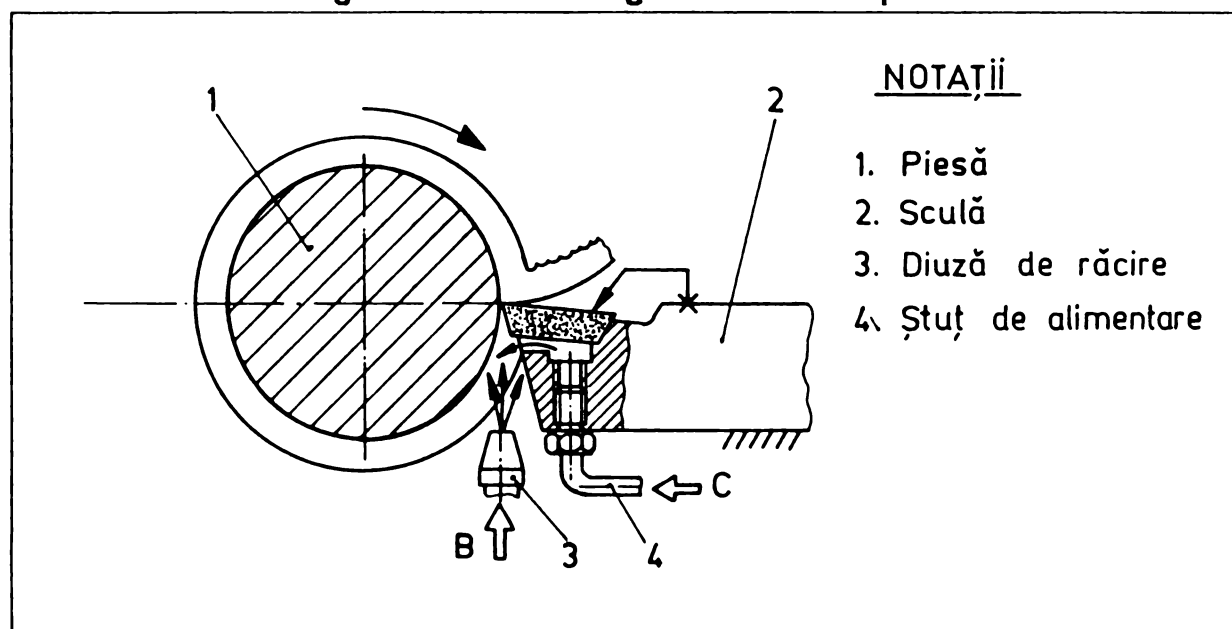


Fig.2.2. Răcirea criogenică numai a sculei.

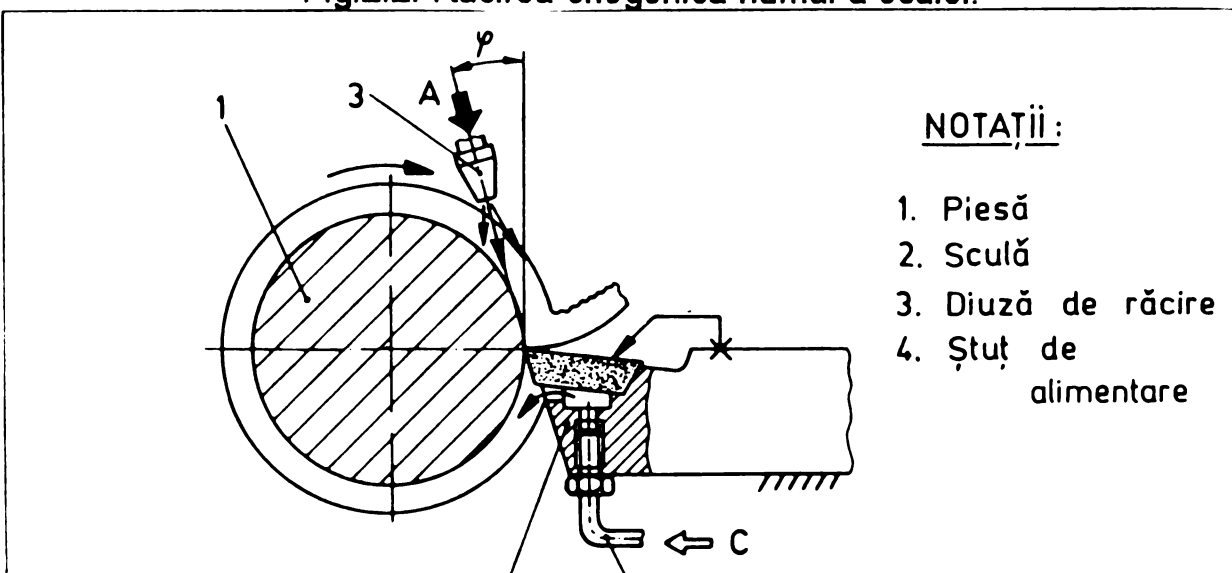


Fig.2.3. Răcirea criogenică a piesei și a sculei simultan.

Răcirea criogenică a piesei și a sculei simultan (fig.2.3) se face atât prin pulverizarea lichidului criogenic pe fața de degajare a sculei (direcția **A**), cât și prin inundarea feței de așezare cu mediul respectiv (direcția **C**). Este metoda cea mai indicată pentru a se obține un efect maxim al răcirii criogenice.

Indiferent însă de varianta de răcire aleasă, proiectarea și execuția unei instalații de răcire criogenică pune noi probleme tehnice. Problema cea mai importantă este ca **mediul criogenic vehiculat prin instalație să ajungă în zona de așchiere sub formă de lichid și nu sub formă de vapori**, a căror putere de răcire este aproximativ cu un ordin de mărime mai mică decât a lichidului criogenic. Pentru atingerea acestui deziderat, la proiectarea și execuția instalației, trebuie să se țină seama de următoarele condiții [9], [10], [88], [101]:

1 - stocarea lichidului criogenic se face în vase tip Dewar, având o izolație termică care evită pierderi importante de energie prin încălzire.

2 - drumul parcurs de lichid trebuie să fie cât mai scurt.

3 - ajustajul de pulverizare a lichidului să fie cât mai aproape de tăișul sculei și/sau de suprafața de prelucrat a piesei, pentru a se obține o răcire eficientă.

4 - controlul și protejarea instalației împotriva unor suprapresiuni din circuitul de răcire.

După cum proiectantul și executantul reușesc să găsească soluții adecvate de a răci scula și/sau piesa cât mai intens și la un consum cât mai redus de lichid criogenic, cu atât instalația de răcire respectivă devine mai rentabilă, și deci aplicabilă la mai multe procedee de prelucrare.

2.1.2. Descrierea constructivă a instalației de răcire criogenică cu azot lichid

Pentru efectuarea cercetărilor privind optimizarea prelucrării prin strunjire a oțelurilor inoxidabile austenitice în condiții de răcire criogenică s-a realizat o instalație de răcire care combină diverse elemente constructive ale variantelor prezentate în capitolul I [9], [29], [66].

Schema instalației de răcire cu azot lichid (IRC) este prezentată în fig.2.4, și are următoarele module:

MS - modulul de stocare/sifonare a azotului lichid, care are rolul de a crea o anumită suprapresiune în vasul de stocare tip Dewar, pentru ca lichidul să poată fi transportat în instalație;

MA - modulul de alimentare, care asigură transferul azotului lichid din vasul de stocare în zona de așchiere;

MP - modulul de presurizare, cu rolul de a asigura concentrarea și localizarea precisă a lichidului criogenic pe piesă și/sau sculă;

MR - modulul de reglare (semiautomată sau automată) a debitului de azot lichid, corespunzător temperaturii impuse în zona de așchiere.

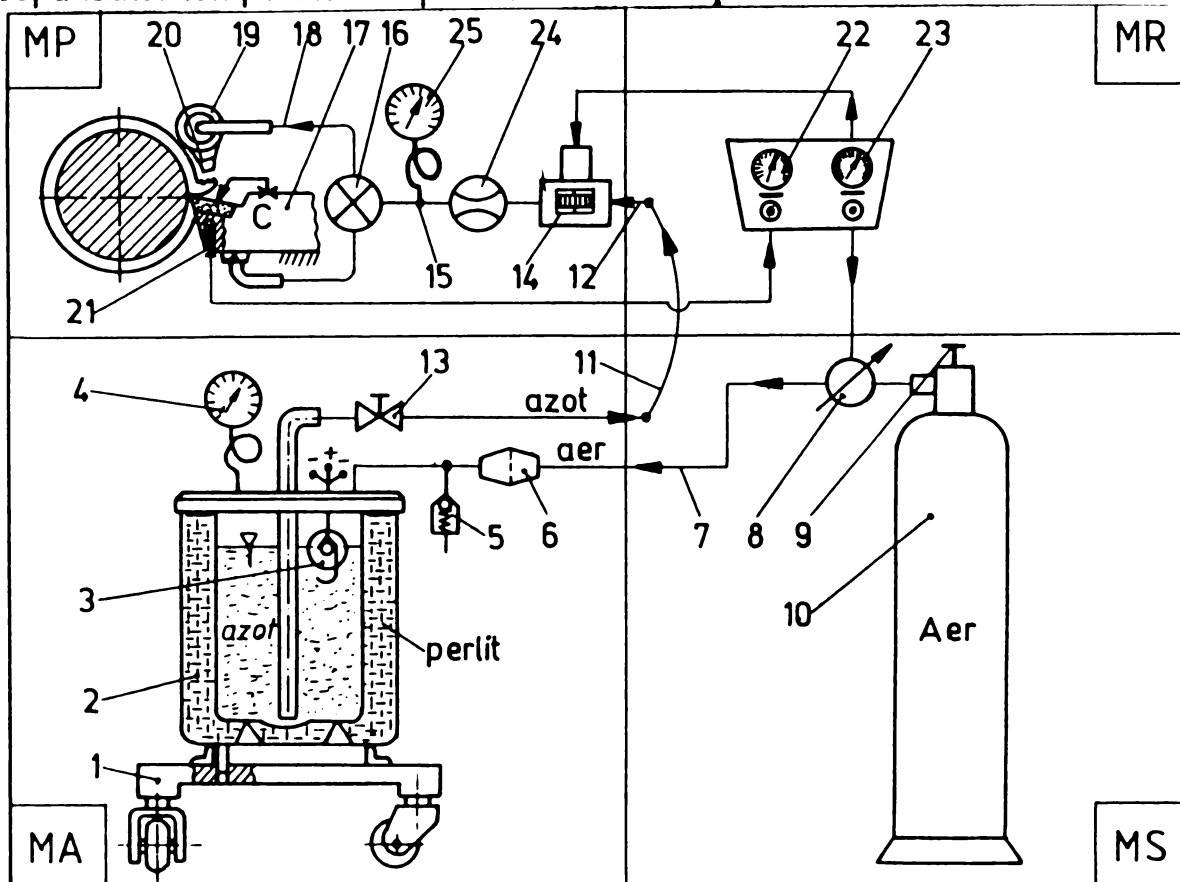


Fig.2.4. Structura modulară a instalației de răcire criogenică.

Modulul de sifonare este adaptat după varianta japoneză, la care suprapresiunea în vasul Dewar se realizează cu aer comprimat. Modulul de alimentare este de concepție proprie, iar modulul de presurizare s-a realizat într-o variantă asemănătoare cu cea rusă [4], [9], [14], [16], [50], [66], [71], [75], [97].

La realizarea instalației de răcire s-au ivit unele probleme tehnice specifice, care au fost rezolvate astfel:

- izolarea vasului de tip Dewar s-a făcut cu pulbere de rocă „perlit”, care a fost presată între pereții vasului. Perlitul asigură [50], [56], [101] cea mai bună izolație termică, după cea realizată cu vid.

- pentru a evita influența frigului adânc asupra manometrelor și debitmetrului, ele au fost legate în circuit prin intermediul unor „spirale” din cupru, ceea ce reprezintă o contribuție proprie a autorului.

- pentru orientarea diuzei de presurizare la un anumit unghi față de tangenta la traiectorie a fost conceput de către autor și realizat un ajutor rotitor.

O vedere generală a instalației, realizată în timpul funcționării, este redată în fig.2.5.

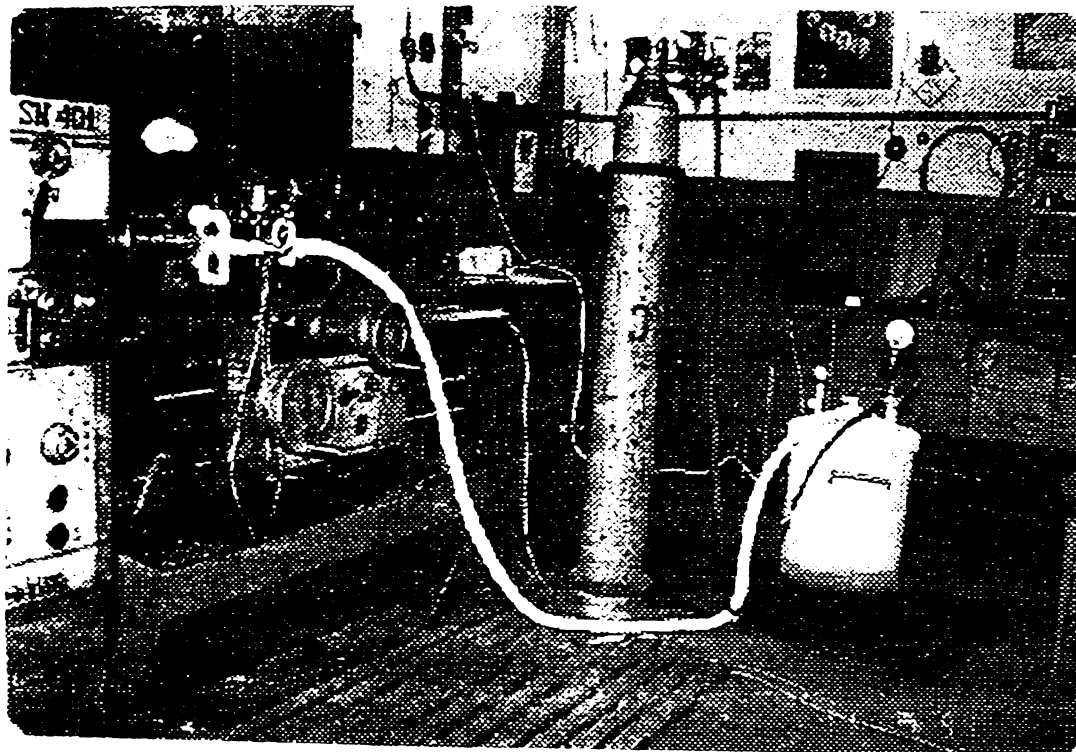


Fig.2.5. Așchiera criogenică cu azot lichid (variantea România - Reșița).

Modulul de stocare/sifonare este format din:

- 1 - căruciorul de transport al instalației;
- 2 - vasul tip Dewar de stocare a azotului lichid, cu o capacitate de 50 litri;
- 3 - nivelmetrul;
- 4 - manometrul de presiune;
- 5 - supapa de siguranță;
- 6 - filtrul de aer;
- 7 - tubul de transfer al aerului la vas;
- 8 - reductorul de presiune;
- 9 - robinetul de închidere-deschidere a alimentării cu aer;
- 10 - butelia de aer.

Modulul de alimentare este constituit din:

- 11** - conducta flexibilă de transfer, cu izolație termică specială pentru frig adânc;
- 12** - conducta rigidă de transfer, din cupru;
- 13** - robinetul manual pentru reglarea grosieră a debitului în circuit;
- 14** - electroventilul pentru reglarea fină a debitului, în funcție de temperatura de răcire;
- 15** - mufele de legătură.

Modulul de presurizare cuprinde:

- 16** - distribuitorul cu trei căi;
- 17** - cușitul cu fixare mecanică a plăcuțelor;
- 18** - ajustajul cu două canale de alimentare;
- 19** - adaptorul rotativ;
- 20** - diuza de presurizare.

Modulul de reglare este alcătuit din:

- 21** - traductorul de temperatură;
- 22** - comparatorul de temperatură;
- 23** - regulatorul de temperatură;
- 24** - debitmetrul pentru măsurarea debitului de azot lichid;
- 25** - manometrul pentru măsurarea presiunii azotului lichid;

2.1.3. Descrierea funcțională a instalației de răcire criogenică cu azot lichid

Aerul pentru crearea suprapresiunii este introdus de la butelia **10** prin reductorul de presiune **8**, tubul de transfer **7** și filtrul **6** în vasul de stocare **2**. Datorită suprapresiunii realizate - prin introducerea aerului comprimat - azotul lichid din vasul Dewar este vehiculat prin conducta flexibilă de transfer **11**, conducta rigidă de transfer **12**, robinetul manual **13** și electroventilul **14**, la distribuitorul cu trei căi **16**. În raport cu poziția de lucru a acestuia, azotul lichid este distribuit într-o anumită proporție spre piesă - prin calea superioară a ajustajului **18**, și respectiv spre sculă - prin calea inferioară (fig.2.6).

Regulatorul de temperatură **23**, în funcție de temperatura din zona de așchiere - măsurată cu traductorul **21**, montat în scula așchietoare - comandă deschiderea sau închiderea electroventilului **14**, realizându-se reglajul fin al debitului. Temperatura impusă în

timpul aşchierii este controlată prin comparatorul de temperatură **22**. Reglajul grosier al debitului se face de la robinetul manual **13**, valoarea lui fiind dată de debitmetrul **24**. Presiunea azotului lichid în zona de aşchiere este indicată de către manometrul **25**.

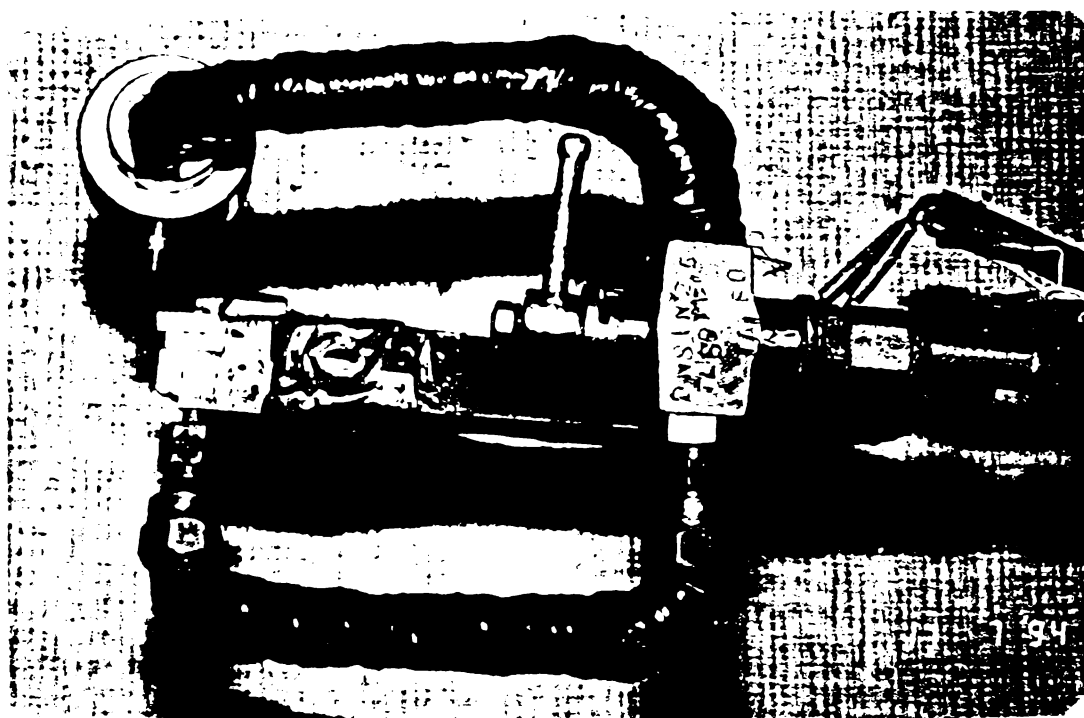


Fig.2.6. Distribuția azotului lichid la strunjirea în condiții de răcire criogenică.

Adaptorul rotativ **19** este conceput astfel încât azotul lichid, aflat sub presiune, intră din conducta centrală de alimentare într-o cameră de distribuție, de unde ajunge la diuza de presurizare **20**, prin orificiile radiale practicate.

Orientarea jetului de lichid sub un anumit unghi față de tangenta la traiectorie în timpul strunjirii se face tot cu adaptorul rotativ **19**, iar concentrarea lui se asigură prin diuza de presurizare **20**. Dacă în vas apar creșteri accidentale de presiune peste valoarea admisă, atunci supapa de siguranță **5** se deschide automat. Presiunea din vas se poate citi la manometrul **4**.

Legătura între conductele de transfer se asigură prin mufele de cuplare **15**, care permit totodată decuplarea și manipularea ușoară a vasului de stocare, în vederea umplerii lui cu azot lichid de la rețea.

Nivelmetrul **3** avertizează vizual umplerea vasului de stocare **2**.

2.1.4. Forma constructivă și poziția de lucru a duzei

Eficiența răcirii cu azot lichid este dată de modul în care mediul este dirijat prin sistemul de răcire cu ajutorul spre zona de așchiere. Forma duzei este dată de tipul și profilul sculei. Mai important decât distanța dintre duză și tăiș este unghiul de amplasare a duzei față de traiectoria de așchiere și lățimea zonei de contact (fig.2.7).

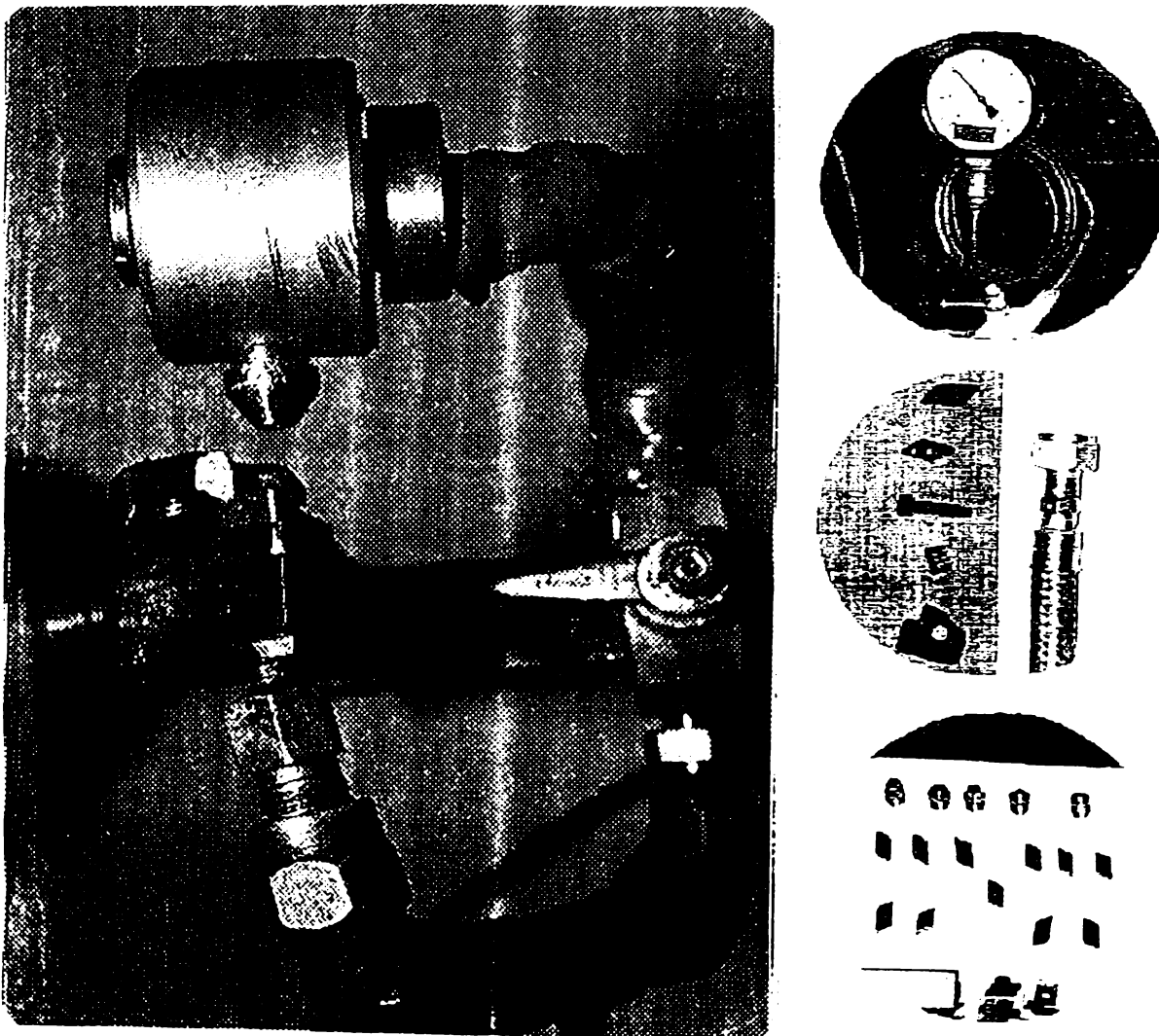


Fig.2.7. Răcirea cuțitului prin duză circulară.

La strunjire se recomandă duze circulare, la care orificiile de stropire sunt dispuse pe diametru. Unghiul de amplasare trebuie să fie de 15° până la 20° către piesă, față de tangenta la traiectoria de așchiere. Cerința de bază este ca duza să urmeze scula, iar alimentarea să fie în sensul de rotație al piesei sau al sculei. Mai mult, diferența dintre

viteza de aşchiere (v_c) și viteza jetului de lichid (v_m) trebuie să fie mică (fig.2.8) [56], [102]:

(2.1)

$v_c - v_m \rightarrow$ mică ,

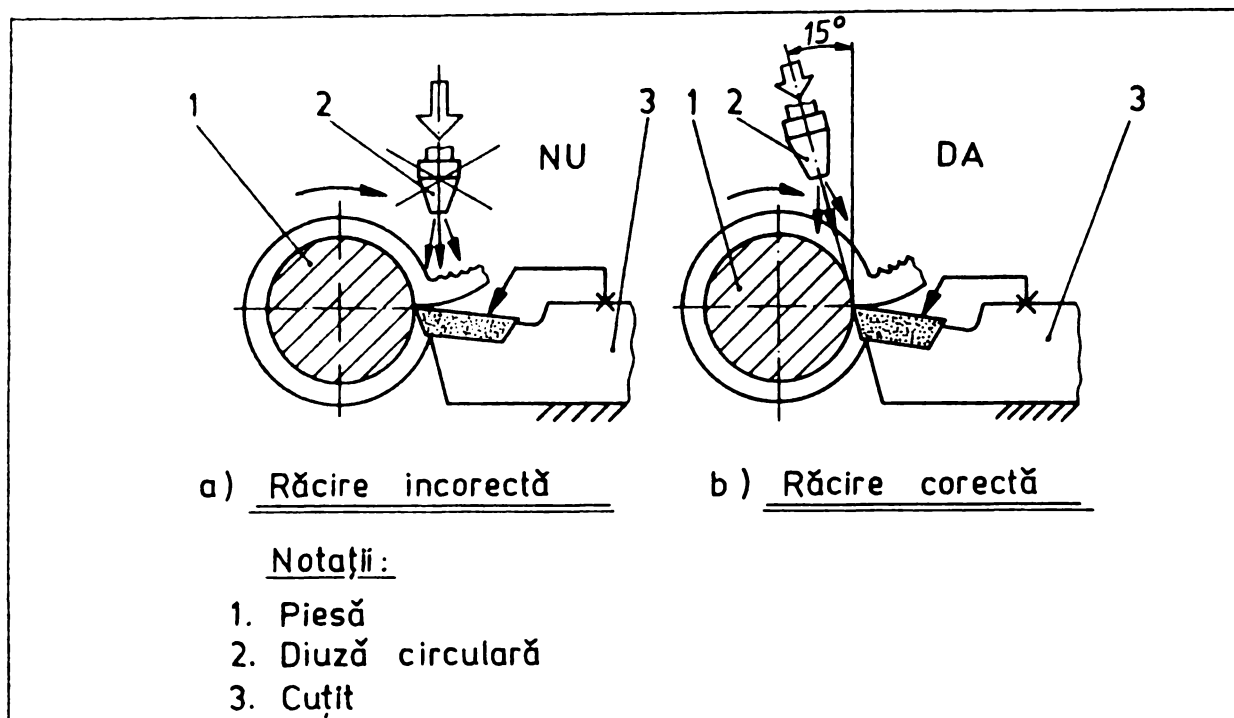


Fig.2.8. Efectul de „tragere” prin sincronizare la răcirea criogenică.

Numai atunci lichidul este „tras” sincron în sensul de rotație, către zona de contact, și răcirea este corectă.

2.1.5. Elemente de calcul privind instalația de răcire

La proiectarea și execuția instalației s-au urmărit în principal două aspecte:

- 1) siguranța în exploatare;
- 2) asigurarea gradului de răcire impus.

Pentru ca azotul să ajungă în zona de aşchiere în stare lichidă, la o anumită presiune de lucru și într-o cantitate suficientă, s-au stabilit următoarele date de calcul:

1 - **presiunea de lucru (p_a)**; conform autorilor [31], [71], [102] și din încercările efectuate, s-a constatat că răcirea este rațională pentru valori:

$$p_a = 0,05 \dots 0,35 \text{ MPa (0,5 \dots 3,5 bar)}. \quad (2.2)$$

Azotul începe să curgă la $p_{min} = 0,05 \text{ MPa}$, atinge un optim la $p_o = 0,2 \text{ MPa}$, și se mai poate lucra cu el în condiții bune până la $p_{max} = 0,35 \text{ MPa}$.

2 - **presiunea de dimensionare a vasului (p_{vas})**; vasul s-a dimensionat pentru a rezista la o presiune:

$$p_{vas} = 2,25 p_{max} = 2,25 * 0,35 \approx 0,8 \text{ MPa (8 bar)}. \quad (2.3)$$

3 - **gradul de răcire (θ)**; este dat de diferența dintre temperatura de așchiere - la prelucrarea obișnuită - și temperatura obținută în condiții de răcire criogenică:

$$d\theta = \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{\theta_{max}} \cdot 100 [\%], \quad (2.4)$$

în care: $d\theta$ - gradul de răcire [%];

θ_{max} - temperatura la așchiera obișnuită;

θ_{min} - temperatura la așchiera în condiții de răcire criogenică.

4 - **debitul de azot lichid (Q_v)**; se determină cu relația:

$$Q_v = \frac{A_{diuză} \cdot v_a}{1000} \text{ [l/min.]}, \quad (2.5)$$

în care: Q_v - debitul de azot lichid [l/min.];

$A_{diuză}$ - aria totală a orificiilor diuzei [mm²];

v_a - viteza de curgere a azotului lichid [m/min.].

Viteza de curgere se determină ținând seama de relația (2.1), și se calculează în raport cu viteza de așchiere:

$$v_a = k_c \cdot v_c \text{ [m/min.]}, \quad (2.6)$$

în care: v_a - viteza de curgere a azotului lichid [m/min.];

v_c - viteza de așchiere [m/min.];

$k_c = 0,67 \dots 0,83$ - coeficient de „scădere” a jetului de lichid [56], [90], [102].

Aria totală a orificiilor diuzei se poate stabili în funcție de numărul orificiilor și diametrul acestora cu relația

$$A_{diuză} = \frac{\pi d_o^2}{4} \cdot n_o \text{ [mm}^2\text{]}, \quad (2.7)$$

în care: d_o - diametrul unui orificiu [mm];

n_o - numărul de orificii.

Practic, s-a constatat că orificiile pot fi dispuse fie central, fie pe un contur circular. Diametrul orificiilor s-a ales între 1 și 5 mm, constatându-se o valoare optimă cuprinsă între 1,5 și 3 mm [71], [90], [102].

5 - **cantitatea maximă de lichid criogenic** ce poate fi stocată în vas s-a stabilit ținând seama de faptul că - dacă se depășește 80% [71], [88], [93] din volumul vasului - presiunea lichidului, prin vaporizare, se dublează. De aceea, recipientul se va umple la maximum 80% din capacitatea sa. Cantitatea maximă de azot lichid va fi:

$$V_{\text{azot}} = 80/100 V_0 = 80/100 \times 50 = 40 \text{ l.} \quad (2.8)$$

2.1.6. Avantajele și dezavantajele instalației

Instalația prezentată, față de alte variante cunoscute, are următoarele avantaje:

- simplitate constructivă și exploatare ușoară, deoarece comprimarea azotului lichid se poate face fie de la o butelie de aer, fie direct de la rețea, caz în care aerul trebuie filtrat și uscat.

- debitul de azot se poate modifica în limite restrânse, prin reglarea fină realizată de către electroventil.

- răcirea criogenică se poate realiza în toate cele trei variante, numai a piesei, numai a sculei, sau atât a piesei cât și a sculei, prin distribuitorul cu trei căi, la care maneta de acționare are trei poziții de lucru: 0°, 45° și 90°.

Instalația are însă și unele dezavantaje:

- nu se asigură o curgere lină a azotului lichid decât după un anumit timp, necesar pentru stabilizarea presiunii din circuit.

- la stocarea și transferul azotului lichid, pierderile de energie sunt încă destul de mari, pentru că atât conductele de cupru folosite, cât și perlitul nu asigură o izolare termică perfectă.

Prin construcția sa, instalația de răcire criogenică cu azot lichid poate fi folosită și la alte procedee de prelucrare, cum ar fi găurirea, frezarea sau rectificarea.

De subliniat faptul că autorul a urmărit construcția unei instalații de răcire criogenică cu azot lichid doar pentru efectuarea încercărilor impuse de temă, și deci soluția prezentată poate fi îmbunătățită, în scopul utilizării ei în aplicații industriale.

2.2. Particularitățile constructive ale sculelor așchietoare răcite criogenic

Folosirea lichidelor criogenice ca medii de așchiere duce la apariția unor anumite particularități constructive ale sculelor așchietoare [4], [9], [10], [13], [23], [56], [71], [86].

Așa cum s-a arătat în § 2.1, răcirea sculei se face fie prin „scăldarea” feței de degajare cu un jet de azot lichid, fie prin introducerea lichidului sub plăcuța așchietoare. Dacă primul jet se obține direct de la ramificația superioară a unui ajutoraj, pentru conducerea celui de-al doilea jet sunt necesare canale speciale, practicate în corpul sculei.

La proiectarea sculelor așchietoare răcite criogenic, se va ține seama de următoarele cerințe:

- 1) **orificiul central** din corpul sculei trebuie să fie cât mai scurt posibil, pentru ca pierderile de energie să fie minime;
- 2) **camera de vaporizare** să fie amplasată cât mai aproape de vârful sculei;
- 3) **canalele de evacuare a vaporilor de azot** - rezultați în urma schimbului termic cu corpul sculei - trebuie realizate astfel încât aceștia să fie dirijați spre suprafața piesei ce se prelucrează.

Particularitatea constructivă a **cuțtelor de strung** constă în faptul că o răcire intensă cu azot lichid se poate realiza numai la construcțiile prevăzute cu plăcuța așchietoare fixată mecanic. În fig.2.9 este prezentată construcția unui cuțit de strung produs de firma SANDVIK Coromant (Suedia), care a fost adaptat pentru a putea fi alimentat cu azot lichid.

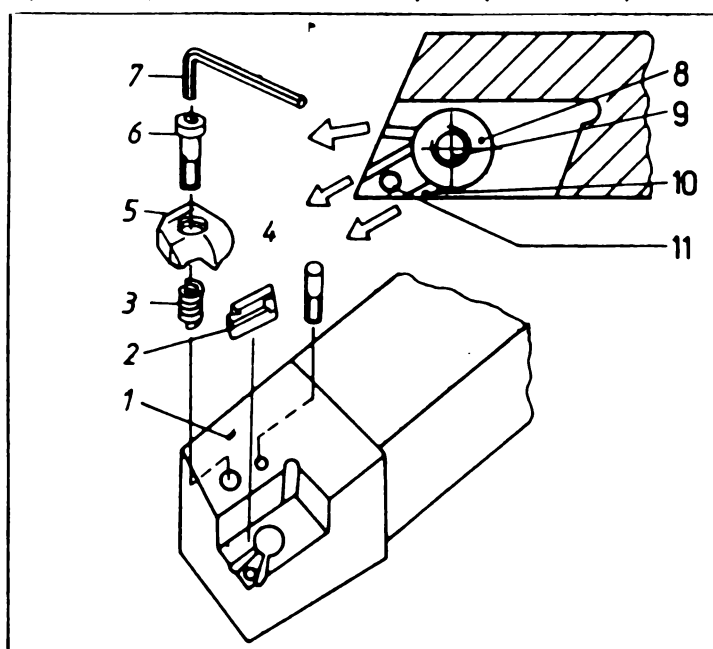


Fig.2.9. Cuțit pentru strunjirea criogenică.

În corpul cuțitului s-a executat un orificiu central de alimentare cu diametrul $\phi=5$ mm prin care azotul lichid ajunge în camera de vaporizare, sub plăcuța așchietoare. Aici, prin contactul lichidului cu suprafața caldă a plăcuței se produce o evaporare rapidă, și - ca urmare - plăcuța se răcește. Vaporii rezultați sunt dirijați către suprafața piesei ce urmează a fi imediat așchiată, prin trei orificii de evacuare de diametru $\phi = 1$ mm. Astfel, se produce și prerăcirea materialului piesei [4], [16], [25], [37], [40], [47], [56], [71], [101], [102].

În cazul găuririi pe strung, azotul lichid a fost adus în zona de așchiere prin intermediul unor canale practicate în corpul burghiului. În fig.2.10 se prezintă **burghiul elicoidal** obținut de la SANDVIK Coromant, folosit la găurirea adâncă.

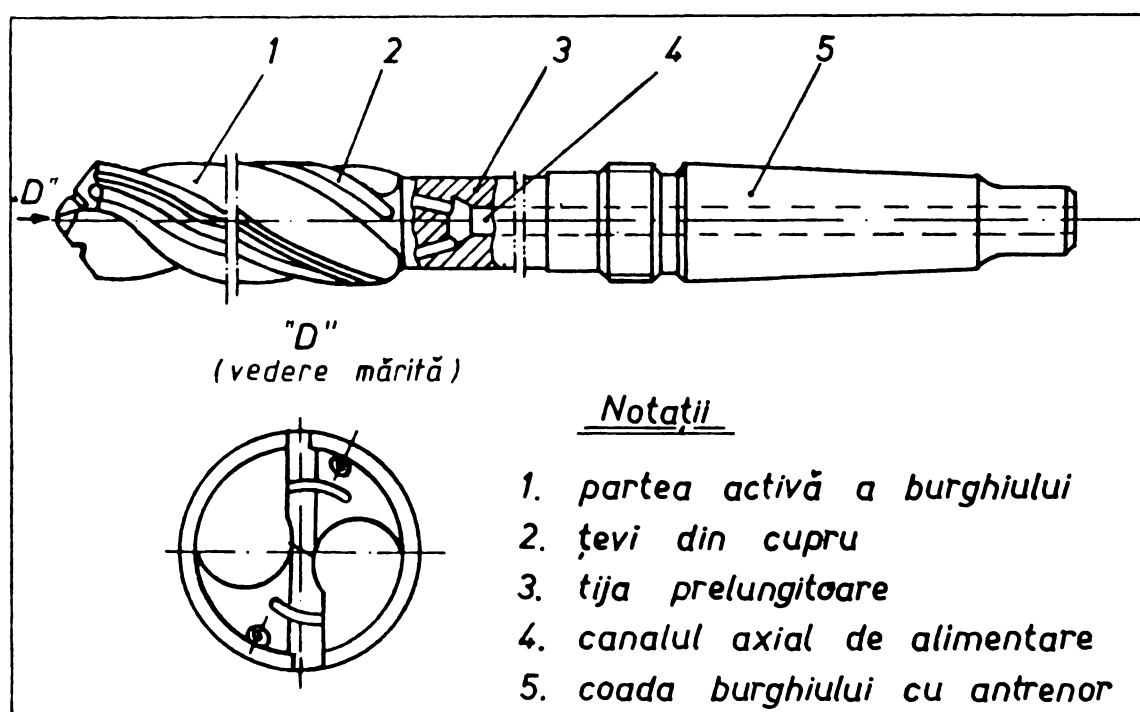


Fig.2.10. Burghiu pentru găurirea criogenică.

La acest tip, vehicularea azotului lichid se face prin țevi de cupru, presate și lipite cu un adeziv special, în canalele elicoidale frezate în prealabil. Mediul de răcire pătrunde - sub presiune - prin orificiul central din coadă, parcurge interiorul țevilor și în final iese pe fețele de așezare ale burghiului sub formă de vaporii, ca urmare a schimbului termic efectuat cu corpul burghiului [86], [90].

Pentru găurirea criogenică pe strung, burghiul prezentat s-a fixat în port-cuțit, printr-un sistem adecvat de prisme (fig.2.11), iar alimentarea cu azot lichid s-a realizat prin cuplarea conductei flexibile a instalației de răcire criogenice direct în gaura axială din coada

burghiului.

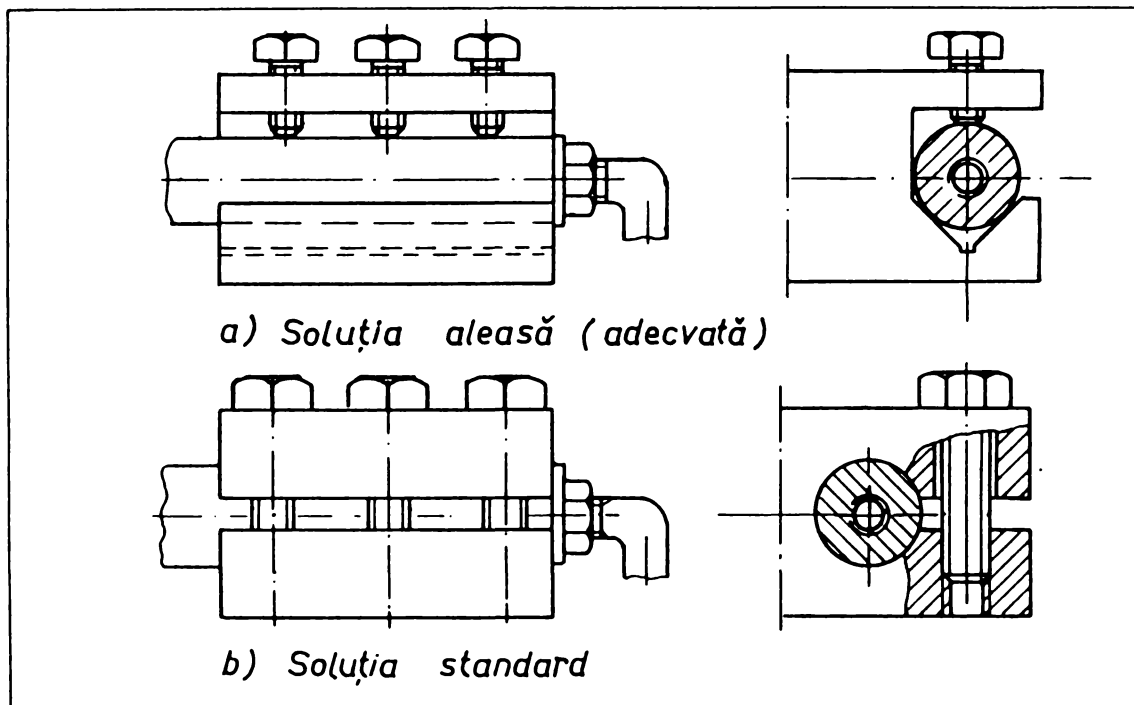


Fig.2.11. Sistemul de orientare-fixare a burghiului la găurirea criogenică pe strung.

O altă particularitate constructivă importantă este geometria îmbunătățită a burghiului elicoidal, realizată de către autor, după construcții prezentate în [4], [13], [71].

Prima îmbunătățire constă în ascuțirea cu două fațete a burghiului, fapt ce asigură o sollicitare termică mai mică a sculei.

A doua îmbunătățire constă în reducerea tăișului transversal prin executarea unor fațete în „S”, pentru reducerea forței axiale.

Tot o îmbunătățire a geometriei burghiului elicoidal este și practicarea unor canale circulare pe conul de atac, pentru fragmentarea așchiilor.

Acest tip de burghiu se recomandă a fi folosit la executarea găurilor cu diametrul cuprins între 10 și 50 mm.

Trebuie menționat însă că eficacitatea răcirii cu azot lichid este limitată de lungimea găurii, funcție de diametrul burghiului. Pentru alezaje normale ($l/d \leq 10$ mm), se constată o îmbunătățire a condițiilor de așchiere la răcirea burghiului cu azot lichid, în schimb la alezaje adânci ($l/d > 10$ mm), răcirea vârfului burghiului este mai puțin eficientă.

2.3. Aparatura de cercetare

Pentru efectuarea cercetărilor s-a folosit aparatura existentă la:

- **Laboratorul de T.C.M. al Facultății de Inginerie Reșița**, pentru măsurarea uzurii plăcuțelor și desprinderea rădăcinii așchii;
- **Laboratorul de Tensometrie de la Institutul de Cercetare HIDEROM Reșița**, pentru măsurarea tensometrică și înregistrarea forței principale de așchiere, a momentului de încovoiere și de torsiune;
- **Standul de probe Motoare Navale de la U.C.M. Reșița S.A.**, pentru măsurarea temperaturii de răcire și a temperaturii din zona de așchiere;
- **Laboratorul de Calitate de la U.C.M. Reșița S.A.**, pentru măsurarea și înregistrarea automată a rugozității suprafeței, a microdurității și filmarea structurii stratului ecruisat prin așchiere.

Parametrul de uzură pe fața de așezare VB s-a măsurat cu microscopul universal cu reglaj micrometric Werkzeug-Mikroskop, tip 10.060 - firma CARL-ZEISS Jena (Germania), având următoarele caracteristici principale:

- puterea de mărire: 10× 15× 30× 50×;
- valoarea diviziunii de reglaj: 0,005 mm.

Temperatura de răcire s-a măsurat cu un aparat Thermophil, tip 4410 - firma ULTRAKUST (Germania), având două domenii de măsură:

- -150°C + 0°C;
- 0°C + +500°C.

Temperatura de așchiere a fost măsurată cu un aparat de același tip - prevăzut cu un domeniu de măsură 0++1.000°C, la care termocuplul mobil a fost montat în corpul cuțitului, sub plăcuță.

Instalația tensometrică (construcție HIDEROM Reșița) se compune din (fig.2.12):

- tensometru electronic tip KWSM/NE-6 - firma HÖTTINGER (Germania), având următoarele caracteristici:
 - domeniul de măsură: 100...100.000 $\mu\text{m}/\text{m}$;
 - frecvența purtătoare: 5kHz;
 - număr de canale: 6.

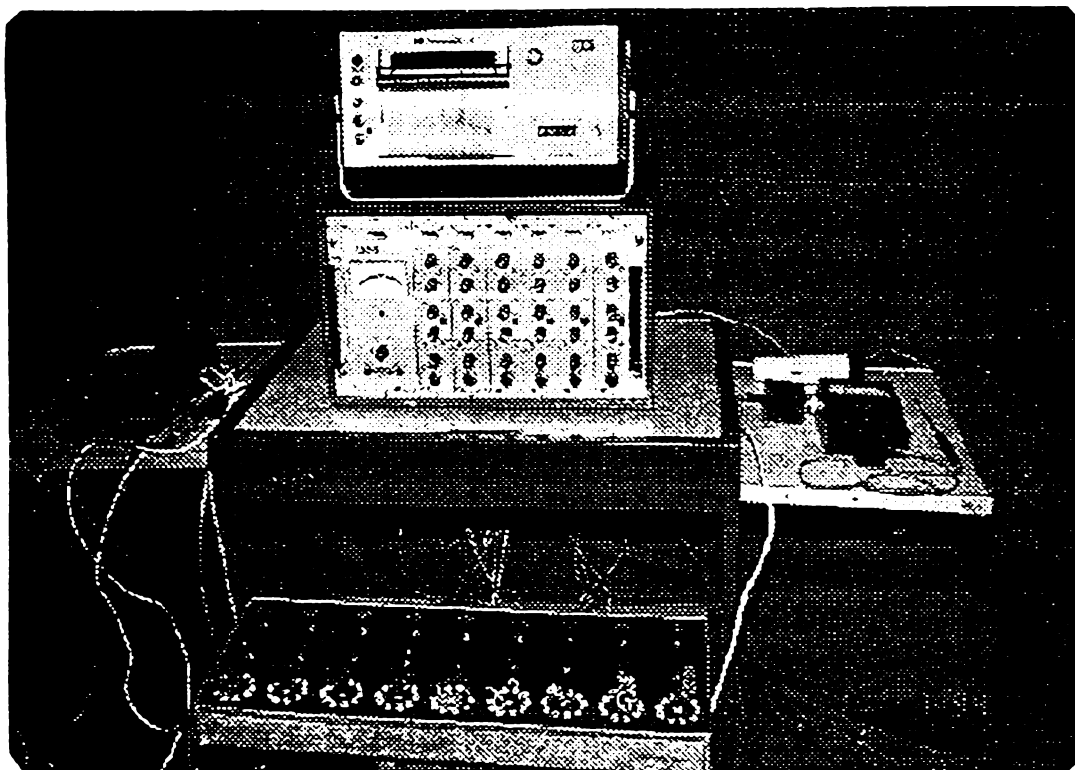


Fig.2.12. Instalația tensometrică HIDEROM Reșița.

■ oscilograf înregistrator tip Lumiscrypt 152 - firma HARTMANN-BRAUN (Germania),
cu caracteristicile:

- lățimea benzii de înregistrare: 150 mm;
- viteza de rulare: până la 1.250 mm/s;
- numărul de canale: 8.

■ atenuator de semnal 8MV-1 și adaptor de buclă AS 101/102.

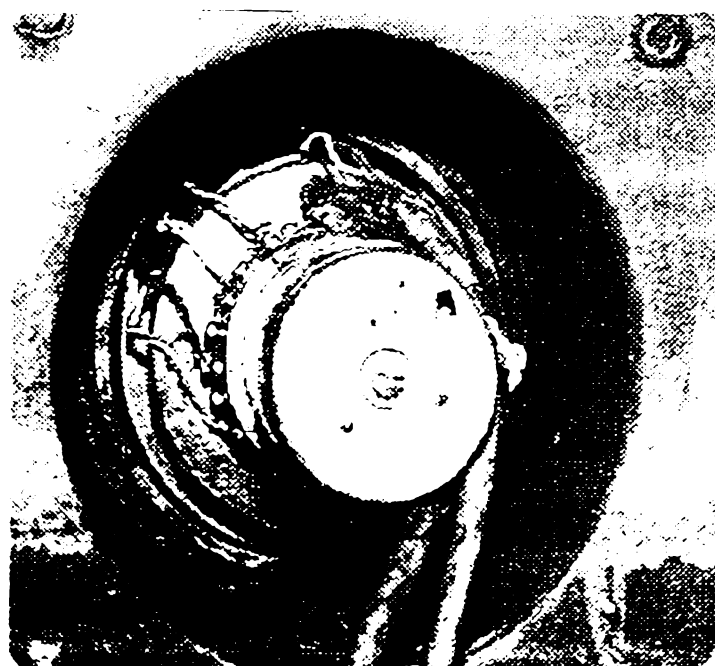


Fig.2.13. Montarea colectorului cu inele.

Colectarea semnalelor celor două momente (de încovoiere și de torsiune) s-a realizat prin intermediul unui colector cu inele, montat în capătul opus al piesei-probă - trecută prin arborele principal al strungului (fig.2.13). Colectorul cu inele tip SK12 - firma HÖTTINGER (Germania) - are următoarele caracteristici:

- tensiunea maximă de alimentare: 60 V;
- turația maximă admisă: 12.000 rot./min.;
- număr de contacte: 12.

Măsurarea și înregistrarea parametrilor de rugozitate s-a făcut cu un rugozimetru portabil, tip 2222 (R.P. China), având următoarele date tehnice:

- parametri de rugozitate ce se pot măsura: Ra, Rt, Ry, S, Sm, tp (conform ISO 4287);
- domeniul de măsură: Rt: 0,5-2,5-12,5-50-125 [μm];
Ra: 0,05-0,25-1,25-5-12,5 [μm];
S: 1/25 ~1/5.
- lățimea hârtiei de imprimare: 43,5 mm;
- viteza de alimentare cu hârtie: 100 m s/point-line;
- pătrunderea pe verticală: $\times 200$, $\times 500$, $\times 2.000$, $\times 10.000$, $\times 50.000$;
- erori de măsură: $\pm 10\%$.

Pentru studiul rădăcinii așchii și fotografierea structurii stratului ecruisat s-a folosit microscopul MEF2 - firma REICHERT (Germania), cu dispozitiv de fotografiere. În vederea obținerii rădăcinii așchii, s-a utilizat un dispozitiv de întrerupere bruscă a procesului de așchiere. Pregătirea probei s-a făcut prin șlefuire cu pâslă cu suspensie de diamant, iar atacul electrolitic s-a realizat cu acid oxalic 10%.

La efectuarea măsurărilor, s-au pus trei importante probleme:

- 1) alegerea și dispunerea corectă a traductoarelor rezistive pentru măsurarea forței de așchiere și respectiv a momentelor;
- 2) ridicarea curbelor de etalonare;
- 3) corectarea simultană a abaterii termice a timbrelor tensometrice rezistive și a factorului de timbru la temperaturi joase, apărute datorită răcirii criogenice cu azot lichid.

Conform [100], pentru măsurarea forței principale de așchiere în domeniul de temperatură cuprins între -195 și 260°C , s-au folosit traductoare tensiometrice rezistive din

aliaj CrNi, de tipul WK-06-250BG-350, produse de firma VISHAY GmbH (Germania), montate în corpul cuțitului. Modul de dispunere și de legare a timbrelor este prezentat în fig.2.14.

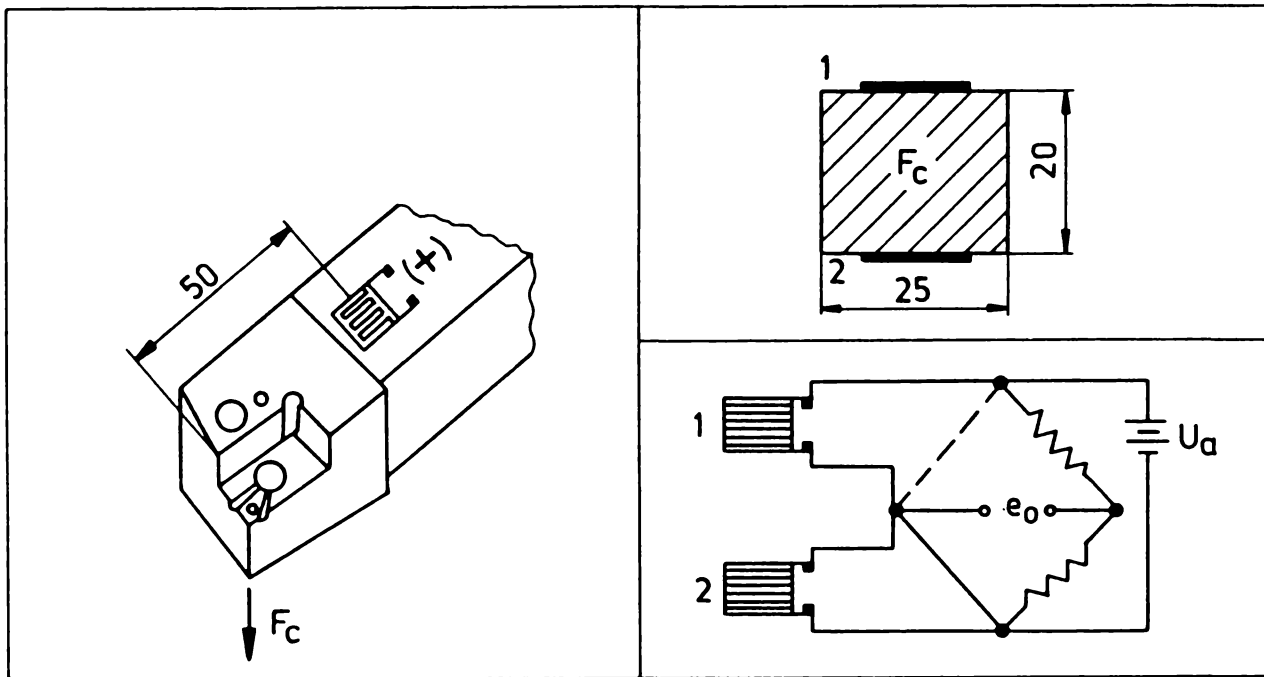


Fig.2.14. Schema tensometrică pentru măsurarea forței principale de așchiere.

Diagrama de etalonare pentru măsurarea forței principale de așchiere este prezentată în fig.2.15.

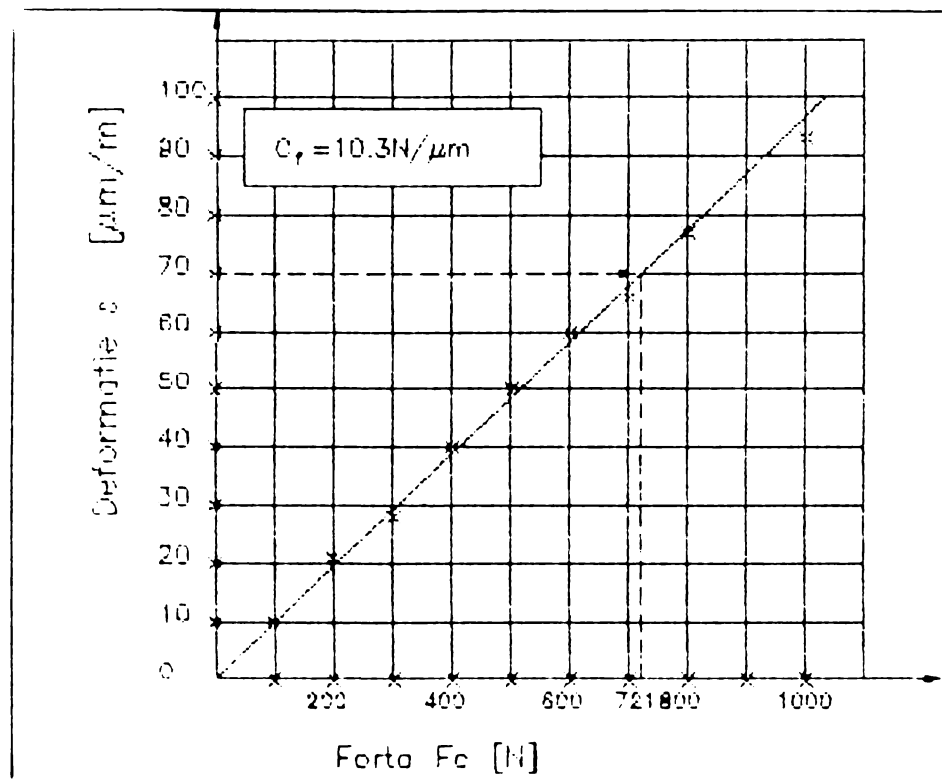


Fig.2.15. Diagrama de etalonare pentru măsurarea forței de așchiere.

Pentru măsurarea momentelor s-au folosit timbre tensometrice rezistive, de tip WK-06-250BG-120, produse de firma amintită mai sus, montate direct pe piesa-probă, după schemele din fig.2.16 și 2.17.

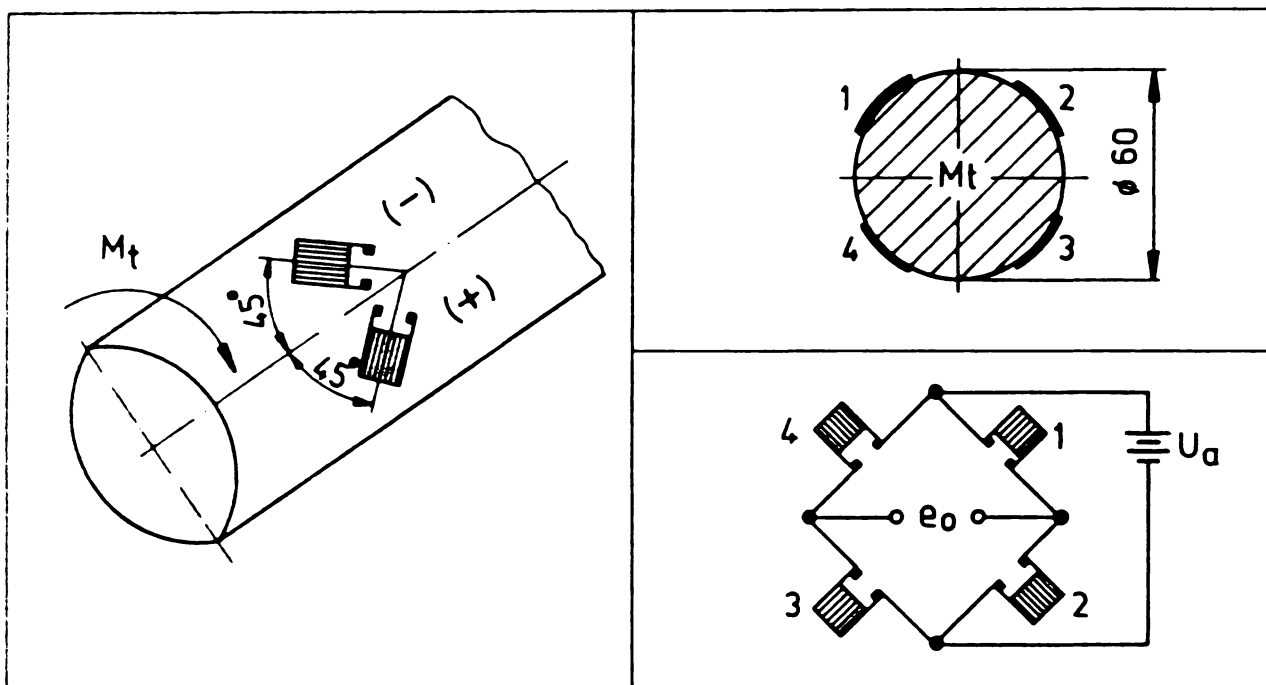


Fig.2.16. Schema tensometrică pentru măsurarea momentului de torsiune.

Curbele de etalonare prezentate s-au ridicat prin adăugarea gradată de greutate pe vârful sculei (pentru F_c), respectiv pe capătul piesei (pentru M_i). Pentru determinarea curbei

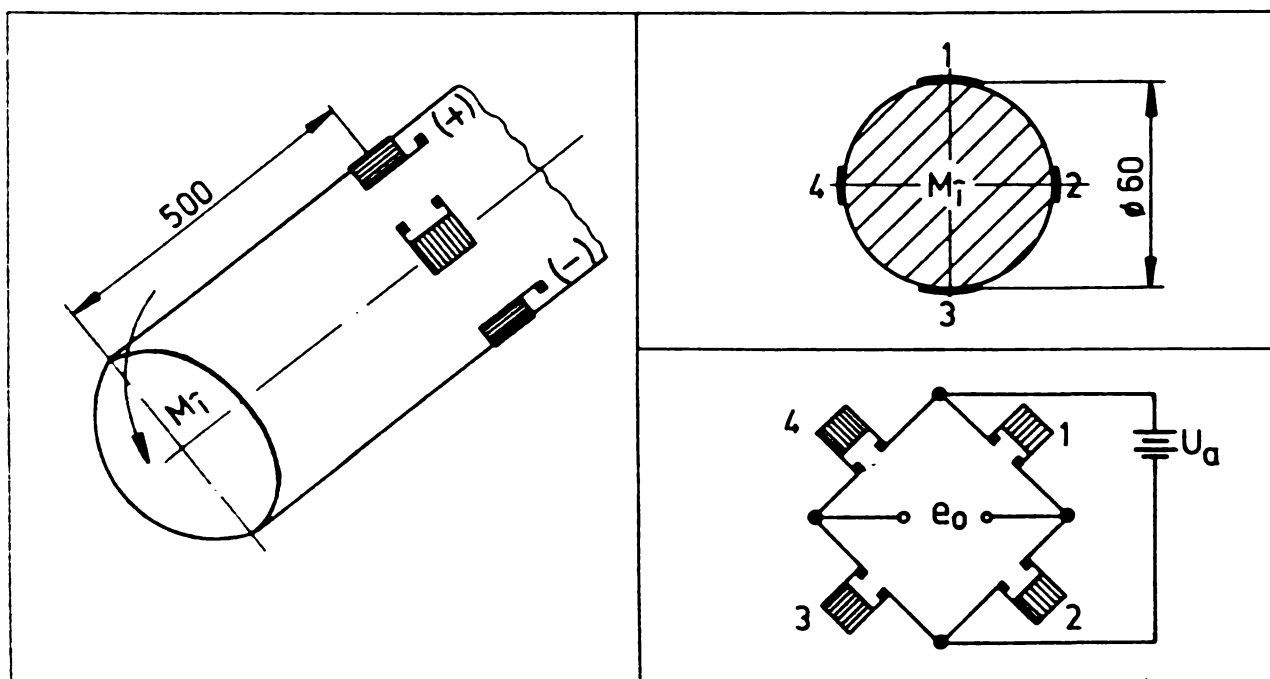


Fig.2.17. Schema tensometrică pentru măsurarea momentului de încovoiere.

de etalonare la măsurarea momentului de torsiune (M_c), greutatea au fost puse pe un taler dispus la capătul unui braț de 1 m, fixat de piesă.

Diagrama de etalonare pentru măsurarea momentelor este prezentată în fig.2.18.

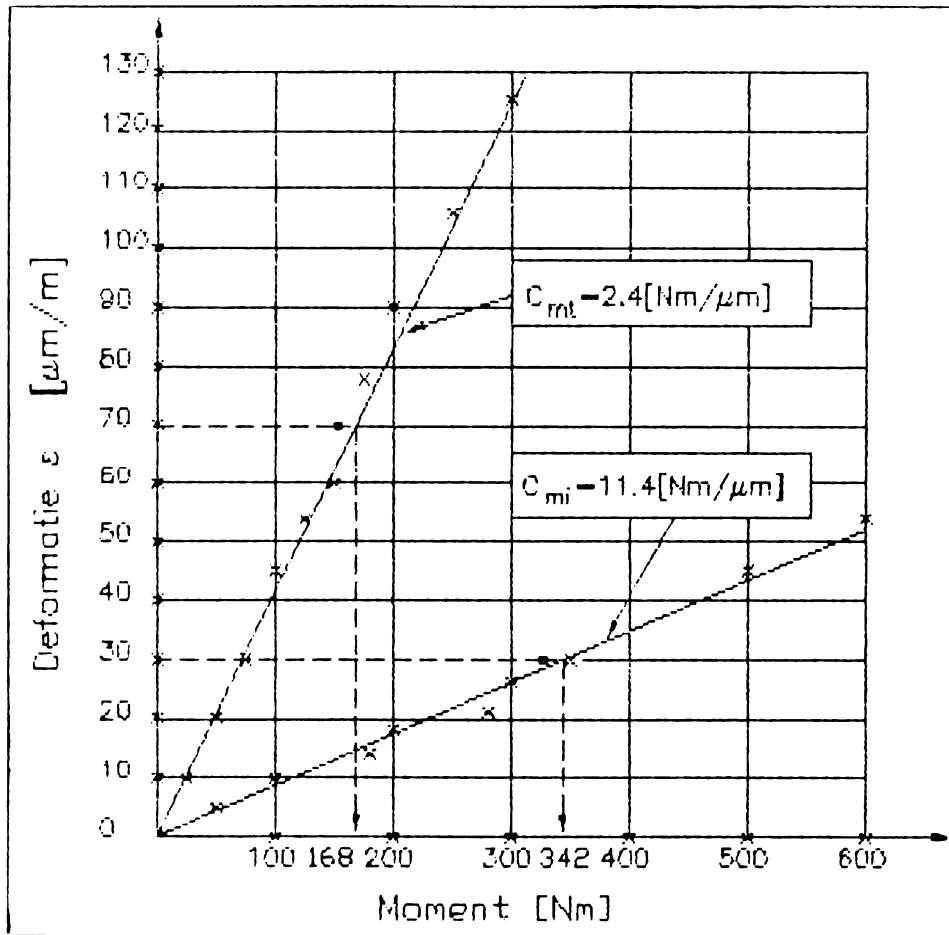


Fig.2.18. Diagrama de etalonare pentru momente.

Pentru măsurarea deplasării sculei în direcția de avans s-a utilizat un traductor inductiv de deplasare W100K - firma HÖTTINGER (Germania). Suportul a fost fixat pe păpușa mobilă, iar un capăt al tijei - cu traductorul de deplasare - pe cărucior.

Ideal, un traductor tensometric rezistiv - lipit pe un obiect de testat - răspunde doar la sollicitările aplicate asupra obiectului respectiv, nefiind afectat de alte variabile din mediul experimental. Din păcate, rezistența acestor traductoare nu este perfectă [10], [22], [100], ea variind - în cazul răcirii criogenice - odată cu temperatura elementului testat. De aceea, valorile înregistrate și citite de pe diagrame, în cazul răcirii cu azot lichid, au fost corectate conform [100], ținându-se seama de curba standard a abaterii termice a timbrelor tensometrice și de curba de variație a factorului timbrului tensometric rezistiv.

Corecția datorată abaterii termice a traductorului față de temperatura mediului de lucru ($\theta_0=24^\circ\text{C}$) s-a realizat în baza relației:

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{(-45)} - d\varepsilon_{(24)}, \quad (2.9)$$

în care: $\varepsilon_{(-45)}$ - deformația la temperatura de lucru a traductorului;
 $d\varepsilon_{(24)} = -10\%$ - abaterea termică a timbrului, conform diagramei din fig.2.19.

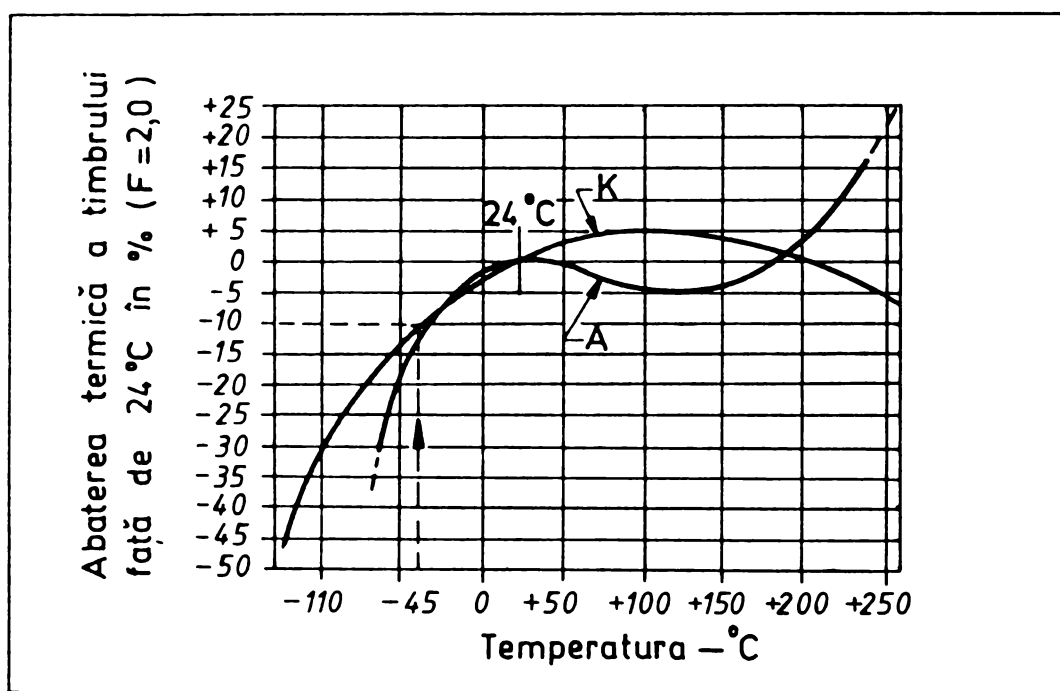


Fig.2.19. Diagrama abaterii termice a traductoarelor.

Valoarea factorului de timbru s-a calculat cu relația [100]:

$$F_{(-45)} = F_{(24)} \left(1 + \frac{dF}{100} \right), \quad (2.10)$$

în care: $F_{(24)}=2,07$ - factorul de timbru la 24°C;
 $dF=0,6\%$ - variația factorului de timbru față de 24°C, în conformitate cu diagrama din [100]

Se obține:

$$F_{(-45)} = 2,07 \left(1 + \frac{0,6}{100} \right) = 2,08. \quad (2.11)$$

Valoarea reală a deformației va fi:

$$\varepsilon = \varepsilon_r \frac{F_{0(24)}}{F_{(-45)}}, \quad (2.12)$$

în care: ε_r - deformația obținută după prima corecție (rel.2.9);
 $F_{0(24)} = 2,0$ - factorul de timbru etalon la temperatura de 24°C;
 $F_{(-45)} = 2,08$ - factorul de timbru la temperatura de testare (-45°C).

În continuare, este prezentată interpretarea diagramelor de forțe și de momente pentru cazul concret de calcul al forței principale de așchiere, la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice (P30), cu parametrii de regim $a=3$ mm, $f=0,3$ mm/rot, $v=78,5$ m/min, în condiții de răcire cu azot lichid:

- timbrul tensometric: WK-09-250BG-350;
- valoarea înregistrată: $d_f=33$ mm;
- scara de înregistrare: 80 mm=500 $\mu\text{m/m}$ (6,25);
- valoarea deformației: $\varepsilon=6,25 \cdot 33=206$ μm ;
- valoarea corectată, datorită abaterii termice a timbrului: $\varepsilon_r=206-(-21)=227$ μm ;
- factorul de timbru la temperatura ambiantă (24°C): $F_{(24)}=2,07$;
- factorul de timbru la temperatura testului (-45°C): $F_{(-45)}=2,08$;
- valoarea reală a deformației: $\varepsilon=227 \cdot (2/2,08)=218,4$ μm ;
- valoarea forței principale de așchiere: $F_c=218,4 \cdot 10,3=2.250$ N.

Totodată, s-a urmărit stabilirea unui regim de răcire eficient, prin determinarea presiunii de lucru și a debitului de azot minim necesar pentru un anumit grad de răcire.

Experimental, s-a constatat că azotul lichid începe să curgă la presiunea $p_a=0,05$ MPa (0,5 bar), dar curgerea este continuă numai de la presiunea $p_{\min}=0,125$ MPa (1,25 bar) și până la $p_{\max}=0,35$ MPa (3,5 bar), când apare efectul de turbulență.

Dependența presiune-viteză de curgere a azotului s-a stabilit cu legea lui Bernoulli:

$$p_a + \rho_a \cdot \frac{v_a^2}{2} = ct, \quad (2.13)$$

iar dependența debit-diametru diuză este dată de ecuația de continuitate:

$$Q_v = v_a \cdot \frac{\pi \cdot d_a^2}{4}. \quad (2.14)$$

Admițând coeficienții de pierderi energetice [102] de pe circuit

- $\xi_1=0,05$ - pentru pierderi datorate schimbării de secțiune;
- $\xi_2=1,3$ - pentru pierderi datorate schimbării direcției de curgere;
- $\xi_3=10$ - pentru pierderi prin robinete;
- $\xi_4=0,5$ - pentru pierderi prin diluză,

prin însumare, coeficientul total de pierderi al instalației va fi $\xi=11,85$, iar coeficientul de viteză, conform [102], este

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 11,85^2}} = 0,085 . \quad (2.15)$$

Viteza de curgere a azotului, în funcție de presiunea de lucru, este dată de relația:

$$v_a = \varphi \sqrt{\frac{2p_a}{\rho_a}} = \eta_a \cdot \sqrt{\frac{2p_a}{\rho_a}} \quad [\text{m/s}] , \quad (2.16)$$

În care: p_a - presiunea de lucru a instalației [bar];

$\rho_a=0,809 \text{ kg/dm}^3$ - densitatea azotului lichid;

$\eta_a=0,85$ - coeficient de corecție, în funcție de pierderile energetice din circuit.

Se obține, pentru presiunea minimă de lucru $p_{\min}=1,25$ bar, viteza minimă de curgere a azotului lichid

$$v_{\min} = 1,5 \text{ m/s (90 m/min)} , \quad (2.17)$$

iar pentru presiunea maximă de lucru $p_{\max}=3,5$ bar, rezultă viteza maximă de curgere a azotului lichid

$$v_{\max} = 2,5 \text{ m/s (150 m/min)} . \quad (2.18)$$

La strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid - când vitezele de așchiere sunt mici ($v_c < 75$ m/min) - răcirea cu azot lichid s-a făcut cu viteze care asigură o curgere continuă a fluidului ($v_{\min}=1,5$ m/s). La strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice - când vitezele de așchiere sunt mari ($v_c=75 \dots 200$ m/min) - pentru a realiza o răcire corectă (sincronă), viteza de curgere a azotului lichid trebuie să fie apropiată de viteza periferică a piesei, și să nu apară fenomenul de turbulență. În tabelul 2.1 sunt prezentate valorile recomandate ale vitezei de

curgere a jetului de azot, în funcție de viteza de așchiere:

Tabelul 2.1

Viteza de așchiere v [m/min]	<75	75...100	100...125	>125
Viteza de curgere v_g [m/s]	1,5...1,75	1,75...2,0	2,0...2,25	2,25...2,5

Presiunea de lucru, în funcție de viteza de curgere impusă a jetului de azot, se obține cu relația

$$p_a = 0,07 \rho_a v_g^2 \text{ [MPa] ,} \quad (2.19)$$

în care: ρ_a - densitatea azotului lichid [kg/dm³];

v_g - viteza de curgere [m/s].

Valorile presiunii de lucru, pentru diferite viteze de curgere, sunt date în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2

Viteza de curgere v_g [m/s]	1,5	1,6	1,7	1,75	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Presiunea de lucru p_a [MPa]x0,1 (bar)	1,25	1,45	1,64	1,75	1,83	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5

Diagrama de variație presiune-viteză de curgere este redată în fig.2.20.

Debitul volumic de azot este dat de relația

$$Q_v = 0,05 v_g d_a^2 \text{ [l/min.] ,} \quad (2.20)$$

în care: v_g - viteza de curgere [m/s] și d_a - diametrul duzei [mm].

În tabelul 2.3 sunt redată valorile de debit pentru anumite diametre ale duzei ajutorului.

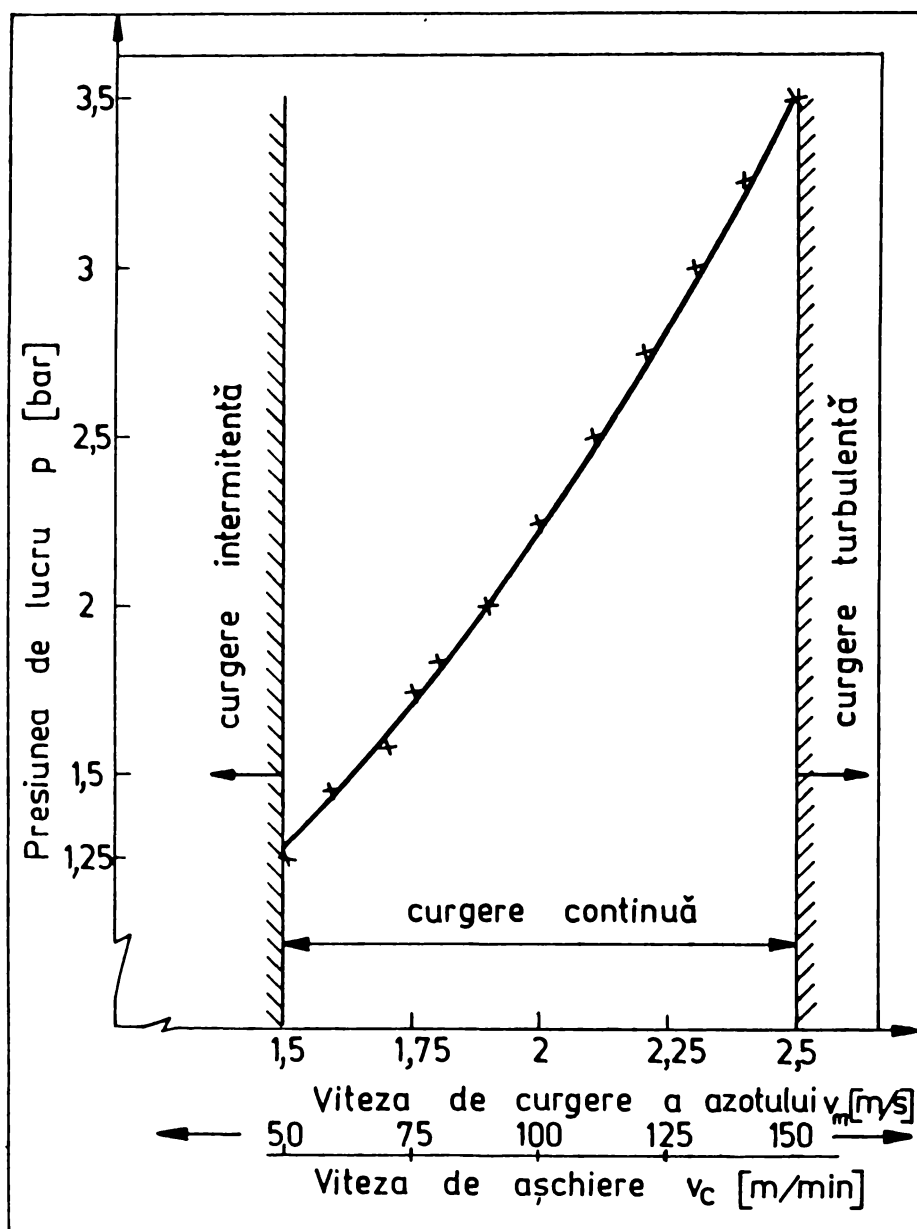


Fig.2.20. Diagrama presiune-viteză de curgere a azotului.

Tabelul 2.3

Diametrul diuzei	d_a [mm]	♠ 1	♠ 1,5	♠ 1,75	♠ 2	♠ 2,25	♠ 2,5	♠ 2,75	♠ 3
Debitul volumic de azot Q_v [l/min]	$v_{min}=1,5m/s$	0,08	0,16	0,22	0,30	0,35	0,45	0,54	0,63
	$v_{med}=2 m/s$	0,10	0,22	0,28	0,37	0,47	0,59	0,71	0,85
	$v_{max}=2,5m/s$	0,12	0,30	0,38	0,47	0,60	0,73	0,89	1,06

Diagrama de variație debit-diametrul diuzei este prezentată în fig.2.21.

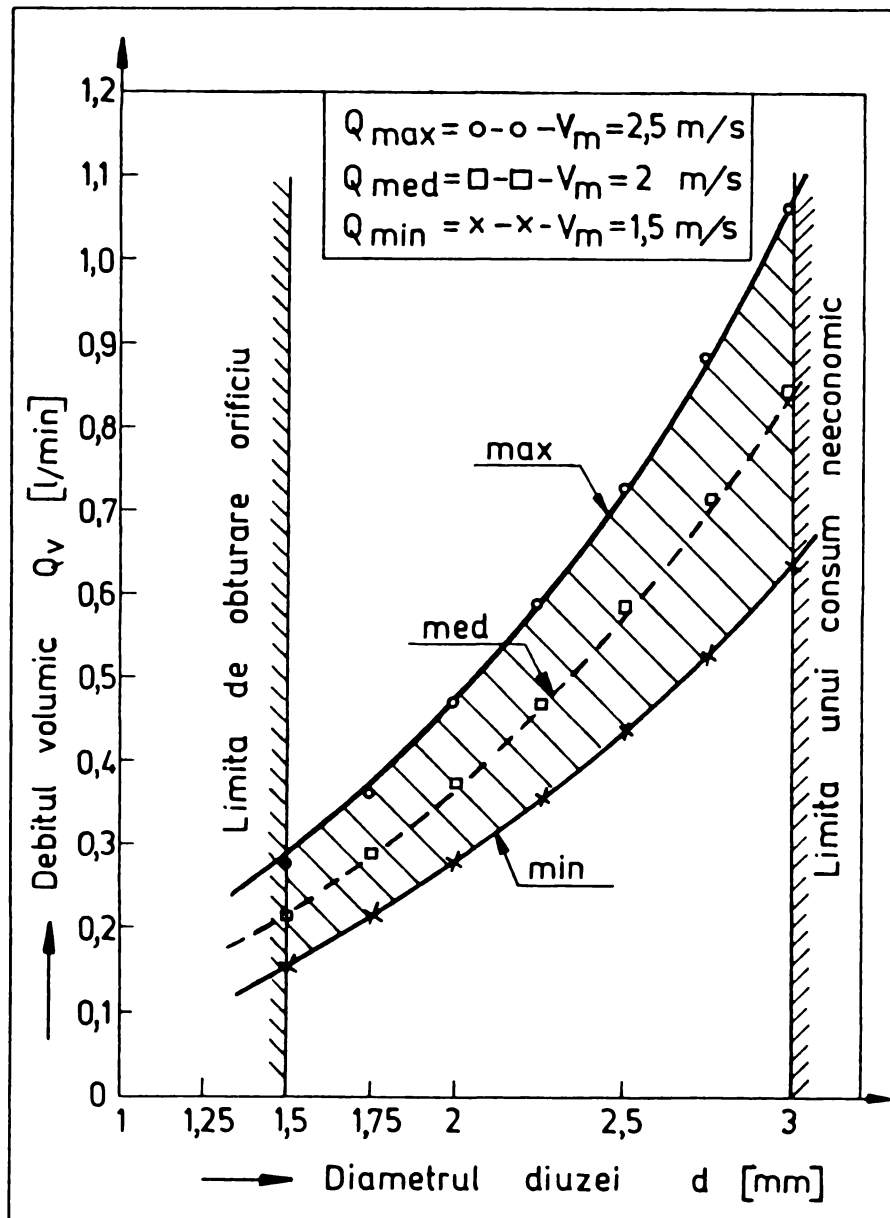


Fig.2.21. Diagrama de variație debit-diametru diuză.

S-a urmărit în mod indirect și consumul de azot, prin cronometrarea timpului de golire al vasului și a timpului de tranziție de la pomirea instalației și până la curgerea continuă a azotului lichid. Datele obținute sunt prezentate în tabelul 2.4.

Se constată că debitul volumic de azot lichid se încadrează în limitele de valori calculate (între 0,32 și 0,45 litri/minut). Timpul de tranziție în care curgerea este intermitentă este de 15 minute, iar timpul de golire al vasului de 40 de litri este de aproximativ 2 ore. Timpul de curgere continuă a azotului lichid este de o oră și 45 de minute.

Tabelul 2.4

Nr. deter- minări	Diametrul d _o [mm]	Volum de azot V _a [l]	Timp de golire t [min.]	Timp de tranziție t ₀ [min.]	Timp de curgere t _a [min.]	Debit de azot Q _v [l/min]
1	1,5	40	145	20	125	0,32
2	2,0	40	120	15	105	0,38
3	2,5	40	105	15	90	0,45

Răcirea cu azot lichid este o răcire la presiune joasă (0,5...5 bar), în jet continuu de fluid, prin orificii de diametre mici (ϕ 1,5... ϕ 5 mm).

Cantitatea de lichid criogenic necesară realizării unui anumit grad de răcire se poate stabili pe baza diagramei de bilanț termic redată în fig.2.22.

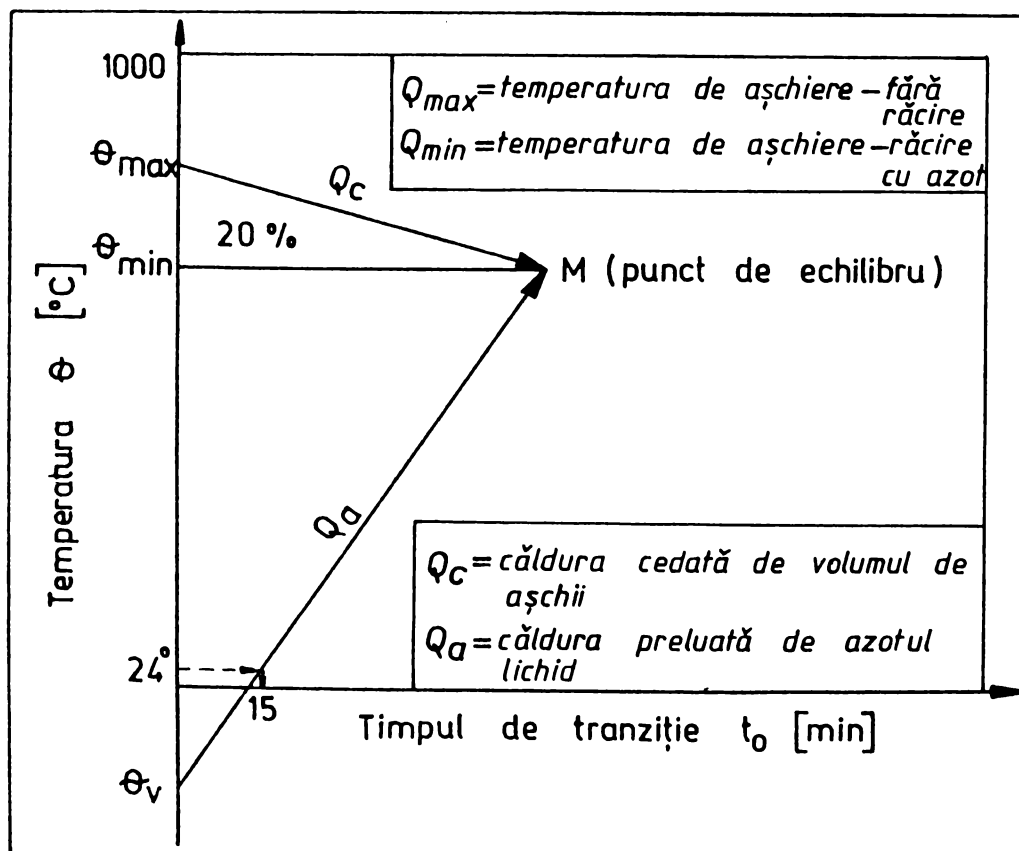


Fig.2.22. Diagrama de bilanț termic la răcirea cu azot lichid.

Prin scrierea egalității între cantitatea de căldură cedată de către așchii și cantitatea de căldură preluată de lichid, ecuația de bilanț termic va fi:

$$Q_c \eta_c = Q_a \eta_a , \quad (2.21)$$

În care: Q_c - căldura cedată de volumul de așchii [J/min.];
 Q_a - căldura preluată de lichidul criogenic [J/min.];
 $\eta_c=0,75$ - coeficient de corecție, în funcție de cantitatea de căldură preluată de așchii în timpul prelucrării [34], [48];
 $\eta_a=0,85$ - coeficient de corecție, în funcție de pierderile energetice din circuit.

Cantitatea de căldură cedată de volumul de așchii este dată de relația

$$Q_c = q_c v_c \rho c_p \Delta \theta_c 10^{-3} \text{ [J/min.] } , \quad (2.22)$$

În care: q_c - aria secțiunii așchiei [mm²];
 v_c - viteza de așchiere [m/min.];
 ρ - densitatea materialului prelucrat [kg/dm³];
 c_p - căldura specifică a materialului prelucrat [J/kg °C];
 $\Delta \theta_c$ - variația temperaturii de așchiere [°C].

Cantitatea de căldură preluată de azotul lichid este dată de relația

$$Q_a = Q_v \rho_a \lambda_a \text{ [J/min.] } , \quad (2.23)$$

În care: Q_v - debitul volumic de azot lichid [l/min.];
 ρ_a - densitatea azotului lichid [kg/dm³];
 λ_a - căldura latentă de vaporizare a azotului [J/kg].

Înlocuind relațiile (2.22) și (2.23) în egalitatea (2.21), se obține relația finală de calcul a debitului volumic de azot lichid:

$$Q_v = \frac{\rho c_p \eta_c \Delta \theta_c}{\rho_a \lambda_a \eta_a} 10^{-3} q_c v_c \text{ [l/min.] } . \quad (2.24)$$

Ținând seama de relația de calcul (2.4) a gradului de răcire, se poate determina variația temperaturii de așchiere:

$$\Delta \theta_c = \theta_{\max} - \theta_{\min} = \frac{d\theta}{100} \theta_{\max} , \quad (2.25)$$

în care: θ_{\max} - temperatura de aşchiere la prelucrarea fără răcire (uscată) [°C];
 θ_{\min} - temperatura de aşchiere la răcirea cu azot [°C];
 $d\theta$ - gradul de răcire [%].

Constantele de calcul pentru prelucrarea prin strunjire a oțelurilor inoxidabile austenitice, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid sunt:

- pentru oțelul 10 TINiCr 180:

- $\rho = 7,9 \text{ kg/dm}^3$ - densitatea oțelului;
- $c_p = 649 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ - căldura specifică a oțelului;

- pentru azotul lichid:

- $\rho_a = 0,809 \text{ kg/dm}^3$ - densitatea azotului lichid;
- $\lambda_a = 199,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ - căldura latentă de vaporizare a azotului lichid.

Înlocuind aceste date în relația (2.25), se obține relația finală de calcul a debitului volumic de azot lichid minim necesar pentru realizarea răcirii criogenice:

$$Q_v = 2,8 \cdot 10^{-5} q_c v_c \theta_{\max} \frac{d\theta}{100} \text{ [l/min]}. \quad (2.26)$$

Debitul de azot minim necesar pentru răcirea plăcuțelor din carburi metalice P30, cu regimul de lucru:

- secțiunea aşchiei: $q_c = 0,3 \cdot 3 = 0,9 \text{ mm}^2$;
- viteza de aşchiere: $v_c = 78,25 \text{ m/min.}$;
- temperatura maximă de aşchiere: $\theta_{\max} = 830^\circ\text{C}$;
- gradul de răcire: $d\theta = 20\%$;

va fi: $Q_v = 0,327 \text{ l/min.}$

Debitul de azot minim necesar pentru răcirea plăcuțelor din oțel rapid Rp3, cu regimul de lucru:

- secțiunea aşchiei: $q_c = 0,3 \cdot 3 = 0,9 \text{ mm}^2$;
- viteza de aşchiere: $v_c = 39,25 \text{ m/min.}$;
- temperatura maximă de aşchiere: $\theta_{\max} = 554^\circ\text{C}$;
- gradul de răcire: $d\theta = 25\%$;

va fi: $Q_v = 0,137 \text{ l/min.}$

Din datele prezentate în tabelul 2.4 se constată că aceste debite sunt asigurate.

CAPITOLUL III

CERCETĂRI EXPERIMENTALE, REZULTATE ȘI INTERPRETĂRI

3.1. Condiții de experimentare

Pentru constituirea modelului matematic de optimizare, s-au efectuat cercetări experimentale axate pe punerea în evidență a influenței azotului lichid - ca mediu criogenic asupra prelucrării prin strunjire a oțelului inoxidabil austenitic 10 TiNiCr 180, folosind cuțite cu plăcuțe din oțel rapid Rp3, executate la U.C.M. Reșița S.A. (România), și plăcuțe din carburi metalice tip P, produse de firma Sandvik Coromant (Suedia).

Strunjirea criogenică s-a realizat cu ajutorul instalației de răcire, prin comprimarea azotului lichid cu aer (IRC - varianta Reșița), prezentată în capitolul II, în următoarele condiții de lucru:

3.1.1. Piesa-probă de prelucrat

Pentru toate încercările s-au folosit bare cilindrice (ϕ 50x400 și ϕ 50x1.000), din semifabricat laminat, prelucrate în prealabil la curat prin treceri succesive de cojire (eboșare - prezentate în fig.3.1).

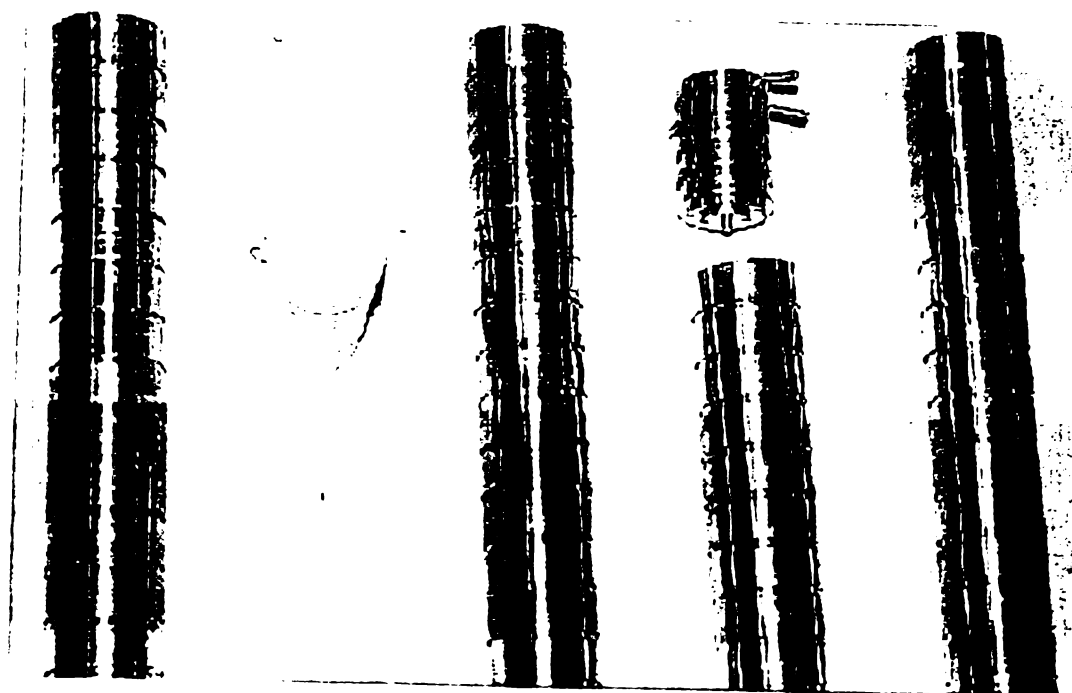


Fig.3.1. Piese-probă de prelucrat.

Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelului 10 TiNiCr 180, conform buletinelor de analiză, sunt prezentate în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

Oțel 10 TiNiCr180					
Compoziția chimică [%]					
C	Cr	Ni	Mn	Si	Ti
0,08	18,20	9,62	0,53	0,36	0,40
Caracteristici fizico-mecanice					
Rp _{0,2} MPa [N/mm ²]	Rm MPa [N/mm ²]	A ₅ [%]	kc ₁ MPa [N/mm ²]	m _c	Duritate Brinell
200	550	40	1.850	0,27	210 HB

3.1.2. Mașina-unealtă

Testele s-au efectuat pe un strung normal **SN 401x1.000**, având puterea nominală de 7,5 kW, cu o rigiditate mare, și care a asigurat schimbarea turațiilor și avansului în trepte, la valorile din tabelul 3.2.

Tabelul 3.2

Gama de avansuri	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
f _{MU} [mm/rot.]	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Gama de turații	60	80	100	125	160	200	250
n _{MU} [rot./min.]	320	400	500	600	800	1.000	1.250

3.1.3. Scula așchietoare

Cuțitul de strung folosit este în construcție amovibilă (demontabilă), cu plăcuțe fixate mecanic cu clemă și șurub (sistemul C).

Codul de simbolizare al cuțitului, conform ISO [89], [90], [91], [92], [93], [99] este:

- pentru fixarea plăcuțelor din **carburi metalice P10 și P30**:

cuțit 1 ■ 25x25x150 ■ P 90 K 1 C ■ Sandvik Coromant;

- pentru fixarea plăcuțelor din **oțel rapid Rp 3/STAS 7.382-80**:

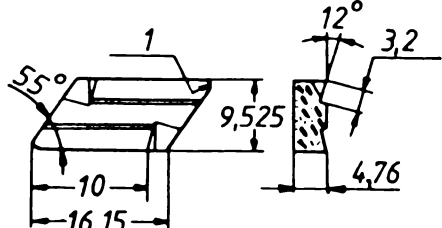
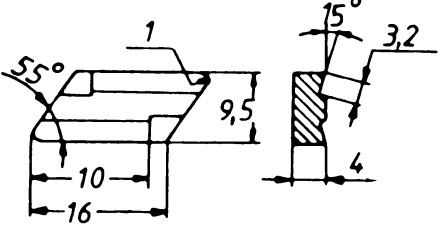
cuțit 1 ■ 25x25x150 ■ Rp 90 K 1 C ■ U.C.M.Reșta S.A.

Tipul, forma și dimensiunile plăcuțelor așchietoare recomandate de firmele producătoare pentru prelucrarea oțelurilor inoxidabile austenitice sunt specificate prin codul ISO (STAS 9.130-89):

plăcuță KNUX ■ 16 04 10 ■ FR ■ STAS 9.130-89/P10, P30 sau Rp3.

Parametrii geometrici ai părții așchietoare a cuțitului sunt prezentați în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

Forma și dimensiunile plăcuței	Partea activă	α_n [°]	γ_n [°]	k_r [°]	λ_T [°]	r_0 [mm]
	P30 și P10	6	12	90	0	1,0
	Rp3	6	15	90	0	1,0

3.1.4. Regimul de așchiere

Parametrii regimului de strunjire sunt, în timpul încercărilor, variabile de decizie.

Valorile succesive, constante, ale acestora au fost:

■ la strunjirea de degroșare:

- adâncimea de așchiere $a=3$ mm;
- avansul pe rotație $f=0,3$ mm/rot.;
- viteza de așchiere $v=78,5$ m/min., pentru plăcuțe din P30;
 $v=25,15$ m/min., pentru plăcuțe din Rp3.

■ la strunjirea de finisare:

- adâncimea de așchiere $a=1$ mm;
- avansul pe rotație $f=0,1$ mm/rot.;
- viteza de așchiere $v=157$ m/min., pentru plăcuțe din P10;
 $v=39,25$ m/min., pentru plăcuțe din Rp3.

Vitezele de așchiere s-au determinat pentru diametrul inițial al suprafeței de prelucrat ($\phi 50$ mm), la turații alese în progresie geometrică.

3.1.5. Modul de răcire

Mediul de răcire este variabila principală de decizie. Modul de răcire cu azot lichid este redat în fig.3.2.

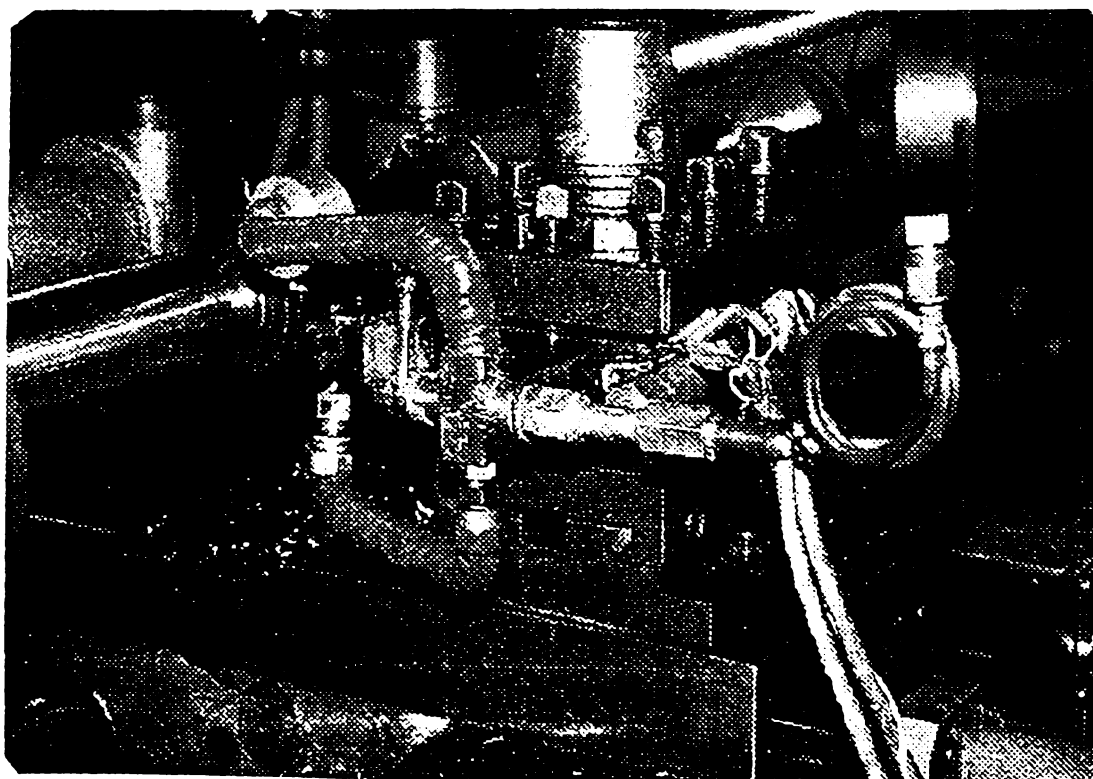


Fig.3.2. Modul de răcire criogenică cu azot lichid.

În timpul strunjirii s-au folosit următoarele variante de răcire:

■ la strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid **Rp3**:

a - răcire cu emulsie (5%);

b - răcire cu azot lichid, atât a piesei cât și a plăcuței, prin curgerea simultană a azotului pe ambele căi ale ajutorului.

■ la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice **P10** și **P30**:

a - fără răcire;

b - răcire cu azot lichid, numai a piesei, prin curgerea azotului lichid prin canalul superior, adaptorul rotativ și diuza de presurizare.

Nu s-au răcit și plăcuțele din carburi metalice, pentru că s-a constatat că lichidul criogenic provoacă fisurarea și apoi ruperea acestora.

Așa cum s-a arătat în capitolul II, pentru a se realiza o curgere continuă și sincronă, s-au utilizat diuze cu orificiul central înclinat la 15-20° față de tangenta la traiectoria mișcării de așchiere și cu diametrul optim de 2 mm, care asigură un debit de 0,32 l/min., la o presiune de lucru de 0,2 MPa (2 bar).

În timpul încercărilor de strunjire a oțelului inoxidabil austenitic, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, s-au urmărit și realizat:

1 - influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra volumului, formei și modului de detașare ale așchiilor;

2 - influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra forței, momentului și puterii de așchiere;

3 - influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra netezimii suprafeței prelucrate și a microdurității stratului superficial;

4 - influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra uzurii și durabilității plăcuțelor așchietoare.

3.2. Influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra volumului, formei și modulului de detașare ale așchilor

3.2.1. Considerații teoretice

La prelucrarea mecanică prin așchiere, volumul de așchii constituie un indicator de bază al capacității de producție.

Relația de calcul a volumului specific de așchii (V_s) la prelucrarea prin strunjire, conform [1], [24], [86] este:

$$V_s = a \cdot f \cdot v_c \text{ [cm}^3\text{/min.]} , \quad (3.1)$$

în care: a - adâncimea de așchiere [mm];

f - avansul de lucru [mm/rot.];

v_c - viteza de așchiere [m/min.].

Totodată, forma și modul de detașare ale așchilor dau o primă imagine asupra procesului de prelucrare prin așchiere. După criteriul „protecției operatorului”, conform [91], pentru optimizare, așchile se notează cu note de la 1 la 9. Așchia cea mai periculoasă și mai defavorabilă prelucrării este notată cu 1, iar cea mai favorabilă și mai puțin periculoasă se notează cu 9 (fig.3.3).

Așchille continue, notate cu 1 până la 5, se prezintă sub formă de bandă, cu suprafața dinspre fața de degajare netedă și lucioasă, iar cealaltă suprafață este mată și cu zimți; acestea se obțin la prelucrarea materialelor tenace (cum sunt și oțelurile inoxidabile austenitice), cu regimuri caracterizate prin viteze de așchiere mari și avansuri de lucru mici.

Așchille fragmentate, notate cu 6 până la 9, se prezintă sub forma unor elemente legate între ele sau separate, obținându-se la materialele casante, dar și la cele tenace [102] - dacă se folosesc medii de răcire criogenice și regimuri de așchiere caracterizate prin viteze mici și avansuri mari.

Se constată că factorii principali de influență asupra volumului, formei și modulului de detașare ale așchilor sunt:

1 - materialul piesei de prelucrat și al sculei;

- 2 - viteza de aşchiere;
- 3 - raportul adâncime-avans;
- 4 - mediul de răcire.

Azotul lichid, ca mediu de aşchiere cu puternic efect de răcire, influenţează deformarea aşchii, contribuind hotărâtor la ruperea acestora.

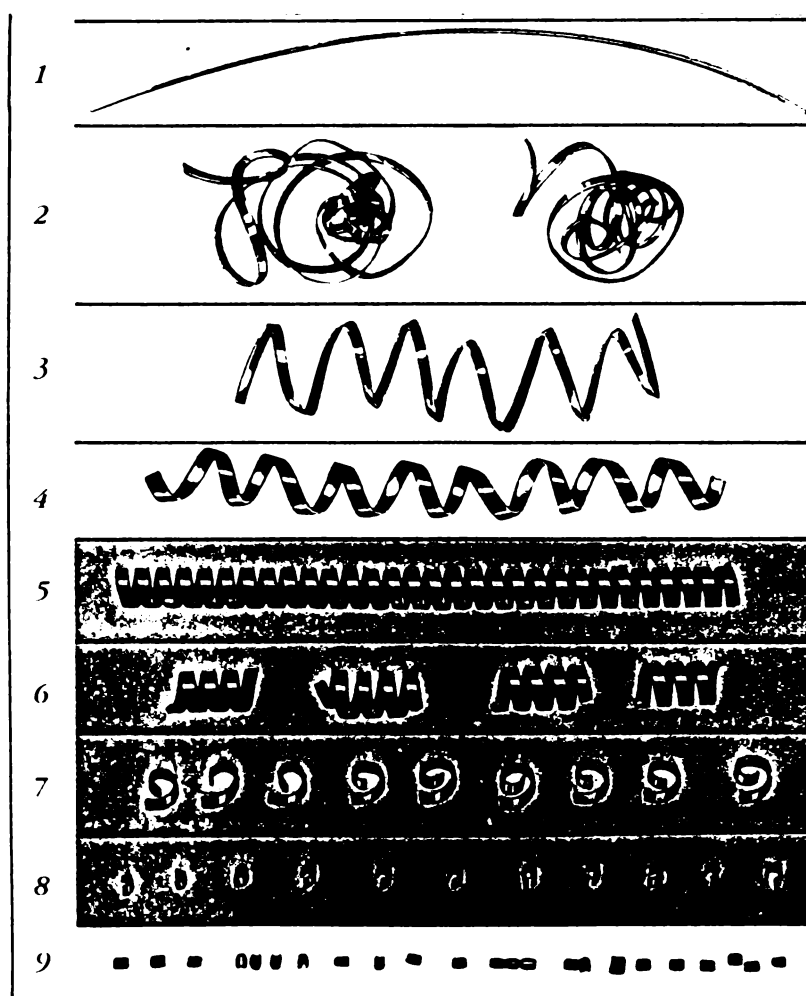


Fig.3.3. Notarea formelor de aşchii.

3.2.2. Fişe de rezultate

În cadrul primelor încercări s-a urmărit stabilirea regimurilor raţionale de aşchiere, pentru care se obţin aşchii fragmentate, atât la strunjirea normală - fără răcire (P30), sau răcire cu emulsie (Rp3) - cât şi la strunjirea în condiţii de răcire crogenică cu azot lichid.

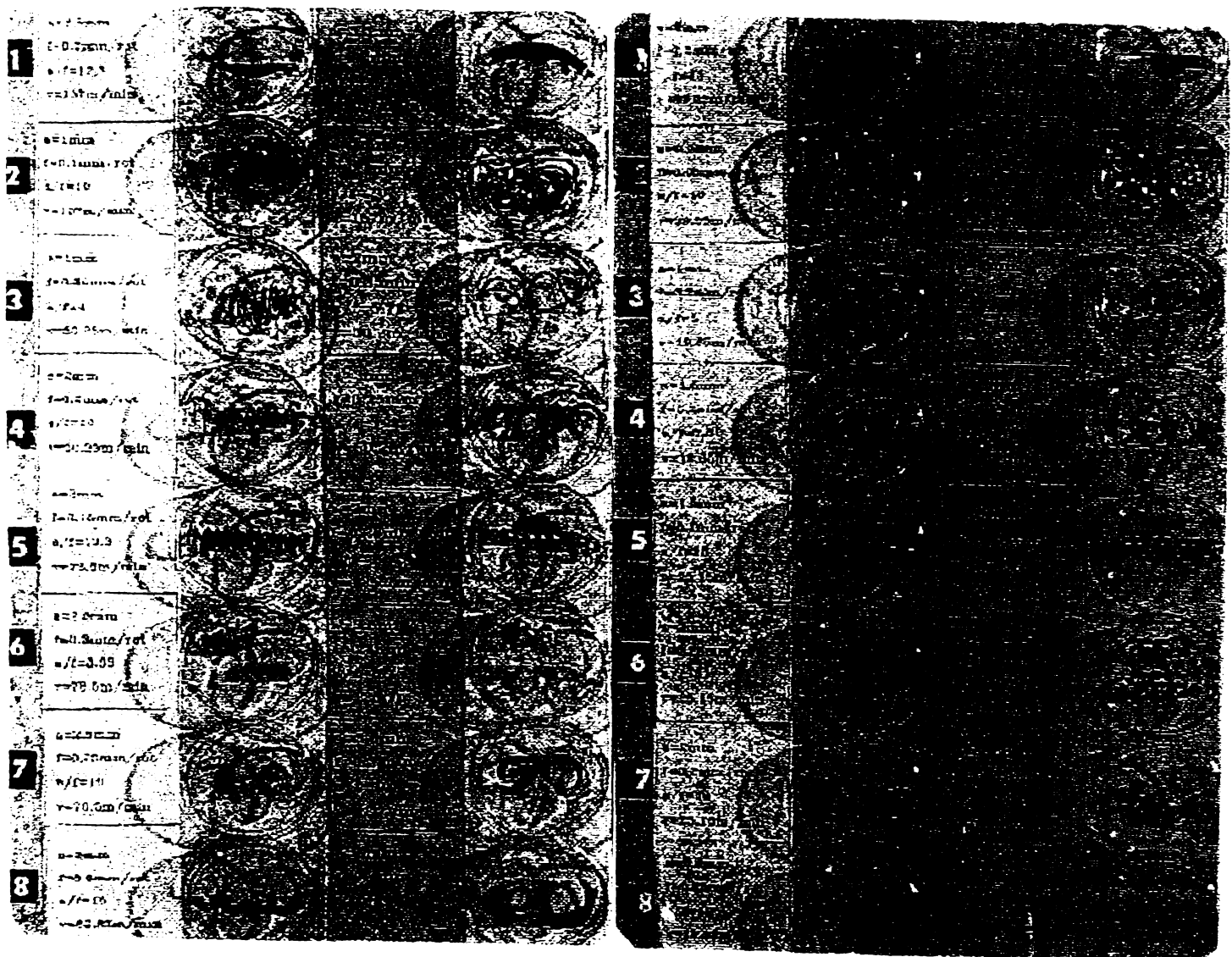
În fig.3.4 se prezintă fotografiile acestor aşchii, precum şi modul lor de notare.

Fără răcire

Răcire cu azot

Răcire cu emulsie

Răcire cu azot



a) strunjire cu plăcuțe P30

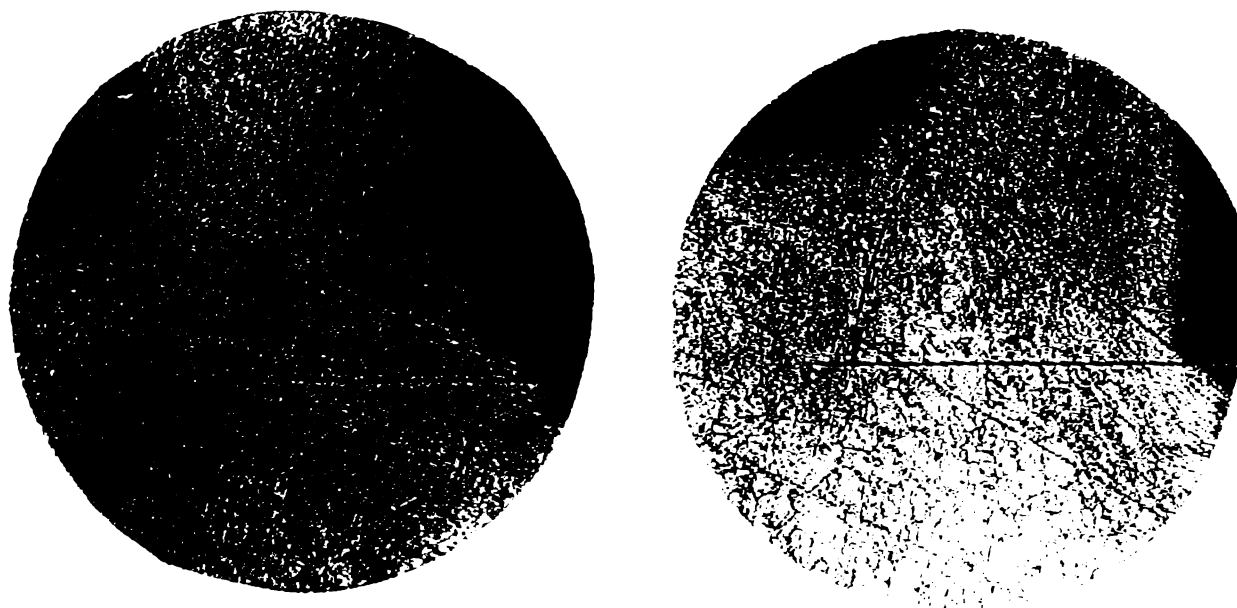
b) strunjire cu plăcuțe Rp3

Fig.3.4. Forma așchiilor obținute la strunjirea oțelului 10 TiNiCr 180.

Prin întreruperea bruscă a procesului de așchiere, s-au obținut rădăcinile așchiilor la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice P30, cu regimul de așchiere: $a=3$ mm; $f=0,3$ mm/rot.; $v=78,5$ m/min., atât la strunjirea fără răcire, cât și la cea în condiții de răcire criogenică cu azot lichid.

În fig.3.5 sunt prezentate microfotografiile rădăcinii așchii, punându-se în evidență

influența azotului lichid asupra unghiului de forfecare la prelucrarea oțelului 10 TiNiCr 180.



a) fără răcire (100x);

b) răcire cu azot lichid (100x);

Fig.3.5. Rădăcinile așchiei la oțelul 10 TiNiCr 180.

3.2.3. Interpretarea rezultatelor

Din analiza formelor și rădăcinilor așchilor, prezentate în fig.3.4 și 3.5, se poate constata:

1. Prin răcirea piesei cu azot lichid, la temperaturi sub 0°C, **așchille continue** (1-5) ale oțelului inoxidabil austenitic, se transformă în **așchii fragmentate** (6-8), la un anumit raport adâncime/avans ($4 \leq a/f \leq 25$) și la o viteză optimă, fapt ce contribuie la îmbunătățirea condițiilor de prelucrare pe mașini-unelte automate.

2. Așchiile obținute în condiții de răcire criogenică sunt de culoare **gri-deschis** (fiind reci), fapt care denotă reducerea însemnată a temperaturii de așchiere față de strunjirea normală, când așchiile sunt de culoare **maro-închis** și puternic încălzite.

3. La strunjirea cu plăcuțe din Rp3 și răcire cu emulsie, regimurile raționale de așchiere sunt:

a=2,0 mm;	respectiv	a=2,5 mm;
f=0,20 mm/rot;		f=0,25 mm/rot;
v=25,15 m/min.;		v=19,65 m/min.

4. La strunjirea cu plăcuțe din **Rp3** și răcire cu azot, regimurile raționale de așchiere sunt:

a=2,5 mm;	respectiv	a=3,0 mm;
f=0,25 mm/rot;		f=0,30 mm/rot;
v=62,83 m/min.;		v=50,25 m/min.

5. La strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice **P30** - fără răcire, regimurile raționale de așchiere sunt:

a=2,5 mm;	respectiv	a=3,0 mm;
f=0,25 mm/rot;		f=0,30 mm/rot;
v=78,50 m/min.;		v=62,83 m/min.

6. La strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice **P30** și răcire cu azot, regimurile raționale de așchiere sunt:

a=3,5 mm;	respectiv	a=4,0 mm;
f=0,35 mm/rot;		f=0,40 mm/rot;
v=125,70 m/min.;		v=94,25 m/min;
a/f=10.		a/f=10.

7. În cazul strunjirii cu plăcuțe din **Rp3** și răcire cu azot, se constată o creștere a capacității de producție de circa patru ori (400%), de la un volum de așchii de 10...12 cm³/min. - obținut la răcirea cu emulsie, la 50...55 cm³/min.

8. În cazul strunjirii cu plăcuțe din **P30** și răcire cu azot, se constată o creștere a capacității de producție de circa 2,5 ori (250%), de la un volum de așchii de 50...60 cm³/min. - în condiții fără răcire, la 150...155 cm³/min.

9. Prin studiul metalografic se constată - la așchiile obținute în condiții de răcire criogenică - o creștere remarcabilă a unghiului de forfecare, de la 24° la 35°, planul de forfecare rotindu-se înspre fața de degajare a sculei.

10. În ambele cazuri de strunjire - cu plăcuțe **P30** și **Rp3** - are loc o micșorare a curburii așchiei la răcirea cu azot, datorită scăderii coeficientului de frecare dintre așchie și fața de degajare a sculei.

Toate aceste fenomene duc la micșorarea consumului energetic în cazul strunjirii oțelurilor inoxidabile austenitice în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, la același regim de așchiere și cu aceeași tip de plăcuță, sau permit o intensificare a regimurilor de așchiere, cu influență directă asupra creșterilor capacităților de producție.

3.3. Influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra forței, momentului și puterii de așchiere

3.3.1. Considerații teoretice

În procesul de așchiere, forța principală (tangențială) de așchiere este factorul determinant în evaluarea puterii de așchiere necesare la prelucrările de degroșare.

Pentru calculul forței de așchiere nu se poate stabili o relație care să țină seama de toate mărimile care o pot influența, fără a se pierde din claritate. De aceea, se iau în considerare numai factorii principali de influență:

- 1 - materialul de prelucrat, prin rezistența specifică de așchiere (kc_1);
- 2 - geometria sculei, îndeosebi prin unghiul de atac (Kr) și unghiul de degajare (γ);
- 3 - parametrii regimului de așchiere, prin influența directă a vitezei și indirectă a avansului și adâncimii - exprimată prin grosimea (h) și lățimea (b) ale așchiei;
- 4 - mediul de răcire.

Componentele forței totale de așchiere, conform notațiilor ISO [89], sunt redată în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4

Schema forțelor de așchiere	Notarea ISO a forțelor de așchiere
	$F_c = F_{tg} = F_z$ - forța principală (tangențială)
	$F_t = F_{ax} = F_x$ - forța de avans (axială)
	$F_p = F_{rad} = F_y$ - forța pasivă (radială)

Relația de calcul a forței principale de așchiere la strunjire, conform [24], [76], [85], este:

$$F_c = k_c \cdot q_c = k_{c1} \cdot h^{-m_c} \cdot q_c = k_{c1} \cdot b \cdot h^{1-m_c} \text{ [N]} , \quad (3.2)$$

în care: $q_c = bh$ - secțiunea așchii detașate [mm²];
 $k_c = k_{c1} h^{-m_c}$ - forța specifică de așchiere [MPa];
 h - grosimea așchii [mm];
 $k_{c1} = 1.850$ MPa - rezistența de așchiere a oțelurilor inoxidabile austenitice[90];
 $m_c = 0,27$ - exponent de influență.

Momentul de așchiere la strunjire este dat de relația

$$M_c = \frac{F_c \cdot D}{2 \cdot 10^3} \text{ [Nm]} , \quad (3.3)$$

în care: F_c - forța principală de așchiere [N];
 D - diametrul inițial al piesei [mm].

Puterea de așchiere se calculează:

■ în funcție de forța principală de așchiere, cu relația

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} \text{ [kW]} ; \quad (3.4)$$

■ în funcție de momentul de așchiere, cu relația

$$P_c = \frac{M_c \cdot n}{\frac{30}{\pi} \cdot 10^3} \text{ [kW]} , \quad (3.5)$$

în care: v_c - viteza de așchiere [m/min.];
 n - turația de lucru [rot./min.];
 F_c - forța principală de așchiere [N];
 M_c - momentul de așchiere [Nm].

În cazul răcirii criogenice cu azot lichid, forța principală de așchiere - și implicit puterea de așchiere - sunt influențate, în mod complex, de cele trei fenomene fundamentale cauzate de răcire. Pe de o parte, în cazul răcirii criogenice, structura oțelului inoxidabil austenitic se fragilizează, ceea ce determină o scădere a rezistenței de așchiere, și totodată

se schimbă caracterul frecării dintre așchie și fața de degajare, reducându-se forța de frecare. Ambele fenomene produc o scădere a forței principale de așchiere. Pe de altă parte, prin diminuarea temperaturii din zona de așchiere, cresc tensiunile de forfecare a stratului plastic de curgere, ceea ce are ca efect mărirea forței principale de așchiere.

Prin ponderea celor două efecte contradictorii, în timpul răcirii cu azot lichid se poate obține o **reducere mai mare** (prin răcirea piesei și sculei simultan) sau **mai mică** (răcind numai piesa - prin pulverizare) sau chiar o creștere a forței de așchiere, în cazul răcirii prin inundare cu azot a interiorului piesei de prelucrat [64], [71], [102].

3.3.2. Fișe de rezultate

Rezultatele înregistrate cu instalația tensiometrică prezentată în § 2.3 sunt redată în fișele de rezultate nr. 1...13.

Valorile forței principale de așchiere, ale momentului de torsiune și ale momentului de încovoiere la strunjirea de degroșare ($a=3$ mm, $f=0,3$ mm, $v_{Rp3}=25,15$ m/min., $v_{P30}=78,50$ m/min.) oțelului 10 TiNiCr 180, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, sunt prezentate în tabelele 3.5...3.10.

Tabelul 3.5

10 TiNiCr 180 - P30

Viteza de așchi- ere	n [rot./ min.]							
	100	160	200	250	320	500	600	800
	v [m/ min.]							
	15,70	25,15	31,40	39,25	50,25	78,50	94,25	125,7
F_c [N]	2 200	2 182	2 400	2 451	2 408	2 250	2 215	2 187
M_t [Nm]	50	48	55	58	55	51	50	48
M_f [Nm]	171	170	187	191	188	175	173	170

10 TiNiCr 180 - Rp3

Tabelul 3.6

Viteza de aşchi- ere	n [rot./ min.]							
	100	125	160	200	250	320	400	500
	v [m/ min.]							
	15,70	19,65	25,15	31,40	39,25	50,25	62,83	78,50
F_c [N]	1.570	1.555	1.600	1.775	1.807	1.762	1.670	1.625
M_t [Nm]	40	38	40	44	45	44	41	40
M_f [Nm]	125	122	125	137	140	135	130	130

10 TiNiCr 180 - P30

Tabelul 3.7

Avans de lucru	f [mm/ rot.]							
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
F_c [N]	595	943	1.304	1.580	1.736	2.100	2.678	2.800
M_t [Nm]	17	25	30	35	38	48	60	65
M_f [Nm]	60	100	120	140	147	165	195	215

10 TiNiCr 180 - Rp3

Tabelul 3.8

Avans de lucru	f [mm/ rot.]							
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
F_c [N]	460	870	1.145	1.480	1.639	1.915	2.100	2.277
M_t [Nm]	13	23	30	37	40	48	55	60
M_f [Nm]	40	70	90	115	128	150	165	175

10 TiNiCr 180 - P30

Tabelul 3.9

Adâncime de aşch.	a [mm]							
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
F_c [N]	366	633	1.007	1.344	1.881	2.109	3.044	3.365
M_t [Nm]	12	20	25	30	42	50	75	80
M_f [Nm]	35	90	83	120	155	168	240	255

10 TiNiCr 180 - Rp3

Tabelul 3.10

Adâncime de aşch.	a [mm]							
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
F_c [N]	343	580	930	1.260	1.585	1.783	2.165	2.525
M_t [Nm]	10	15	25	31	40	45	55	65
M_f [Nm]	27	45	71	100	125	140	170	200

Valorile forței specifice de aşchiere, la strunjirea de degroşare ($a=3$ mm, $f=0,3$ mm, $v_{Rp}=25,15$ m/min. și $v_{P30}=78,50$ m/min.) a oțelului 10 TiNiCr 180, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, sunt prezentate în tabelul 3.11.

Tabelul 3.11

10 TiNiCr 180 - P30/Rp3

Grosime de aşch.	h [mm]							
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
k_c [MPa]	3.814	3.612	3.242	2.933	2.867	2.812	2.708	2.570
$k_{c P30}$ [MPa]	3.133	2.897	2.633	2.315	2.333	2.303	2.233	-
$k_{c Rp3}$ [MPa]	2.900	2.545	2.466	2.185	2.127	2.000	1.892	-

Fișele de rezultate nr. 1...13, privind strunjirea oțelului inoxidabil austenitic 10 TiNiCr 180, cu plăcuțe din carburi metalice P30, respectiv Rp3, în condiții de răcire criogenică, comparativ cu strunjirea normală, prezintă următoarele variații (diagrame):

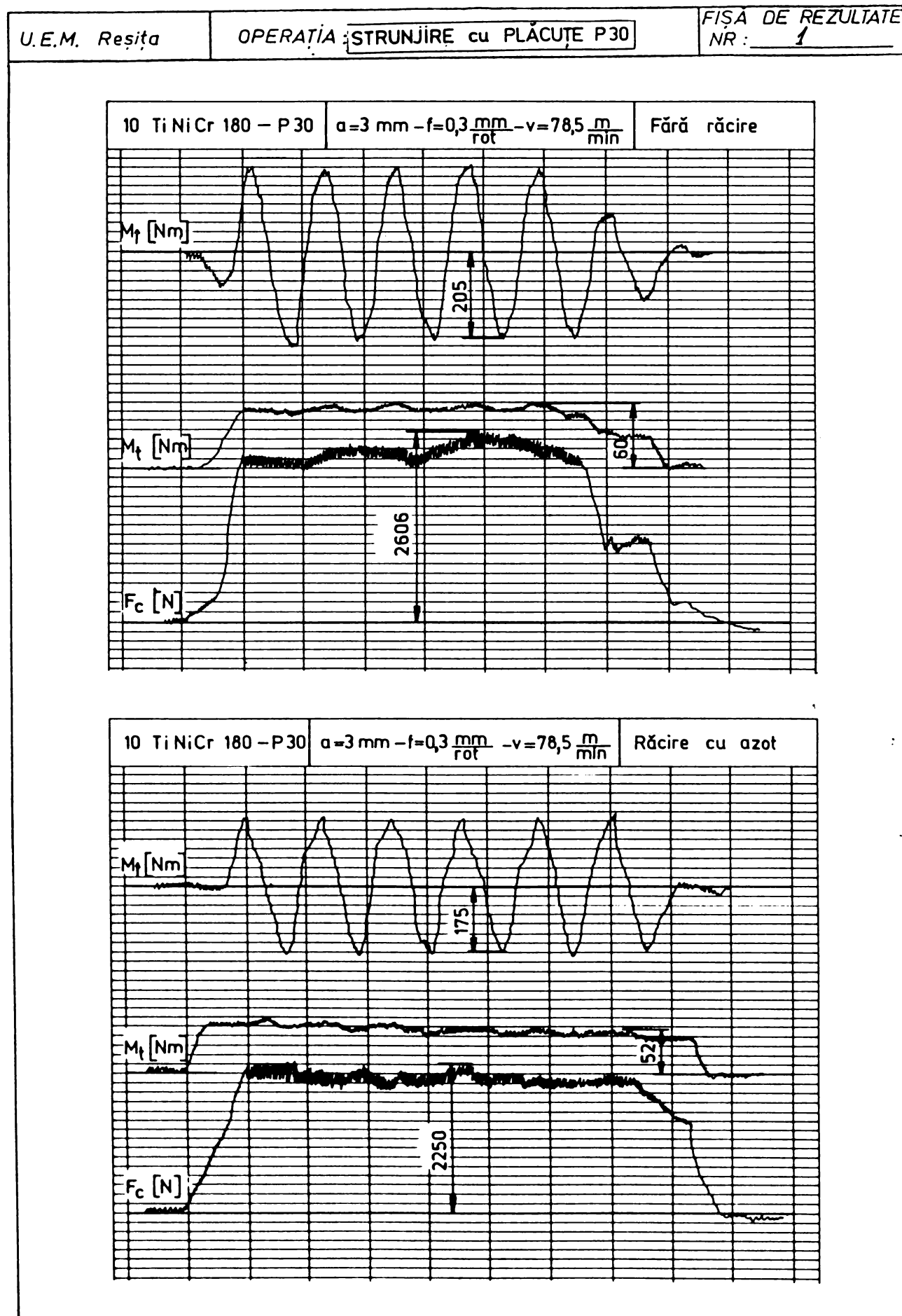
- fișele de rezultate 1...4 - diagramele de înregistrare a parametrilor dinamici;
- fișa de rezultate nr. 5 - variația forță-viteză de așchiere la strunjirea de degroșare ($a=3$ mm, $f=0,3$ mm/rot.), cu plăcuțe din carburi metalice P30;
- fișa de rezultate nr. 6 - variația forță-viteză de așchiere la strunjirea de finisare ($a=1$ mm, $f=0,1$ mm/rot.), cu plăcuțe din carburi metalice P30;
- fișa de rezultate nr. 7 - variația forță-viteză de așchiere la strunjirea de degroșare ($a=3$ mm, $f=0,3$ mm/rot.), cu plăcuțe din oțel rapid Rp3;
- fișa de rezultate nr. 8 - variația forță-viteză de așchiere la strunjirea de finisare ($a=1$ mm, $f=0,1$ mm/rot.), cu plăcuțe din oțel rapid Rp3;
- fișa de rezultate nr. 9 - variația forță-grosime de așchiere (avans) la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice P30 ($v=94,25$ m/min.);
- fișa de rezultate nr. 10 - variația forță-grosime de așchiere (avans) la strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid Rp3 ($v=31,40$ m/min.);
- fișa de rezultate nr. 11 - variația forță-lățime de așchiere (adâncime) la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice P30 ($v=94,25$ m/min.);
- fișa de rezultate nr. 12 - variația forță-lățime de așchiere (adâncime) la strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid Rp3 ($v=31,40$ m/min.);
- fișa de rezultate nr. 13 - variația forță specifică de așchiere-grosime de așchiere la strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid Rp3 și carburi metalice P30.

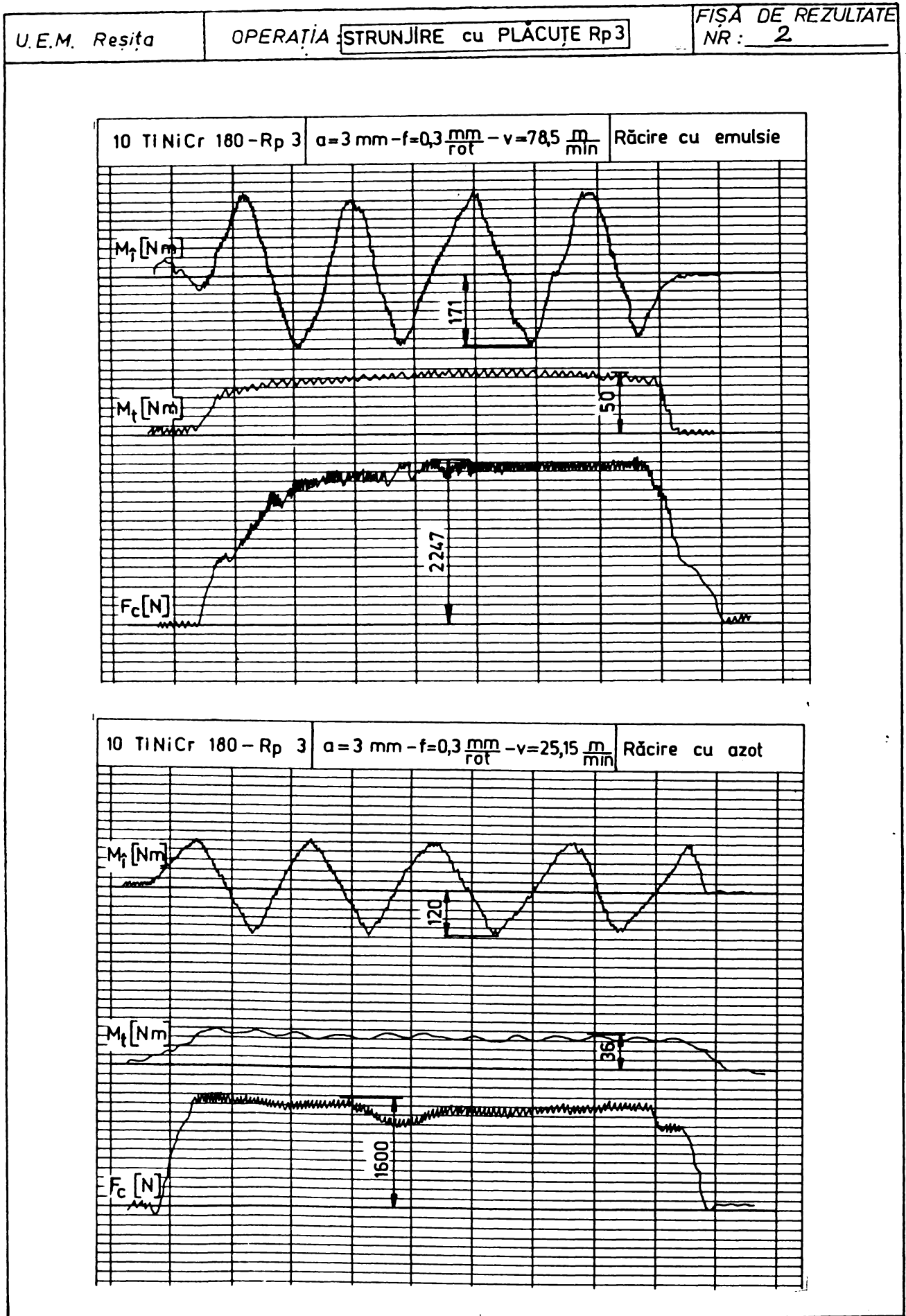
Graficele trasate s-au obținut prin interpolări cu funcții spline cubice (polinoame de gradul trei), în AutoCAD 12 [79], [82], [83], [98].

3.3.3. Interpretarea rezultatelor

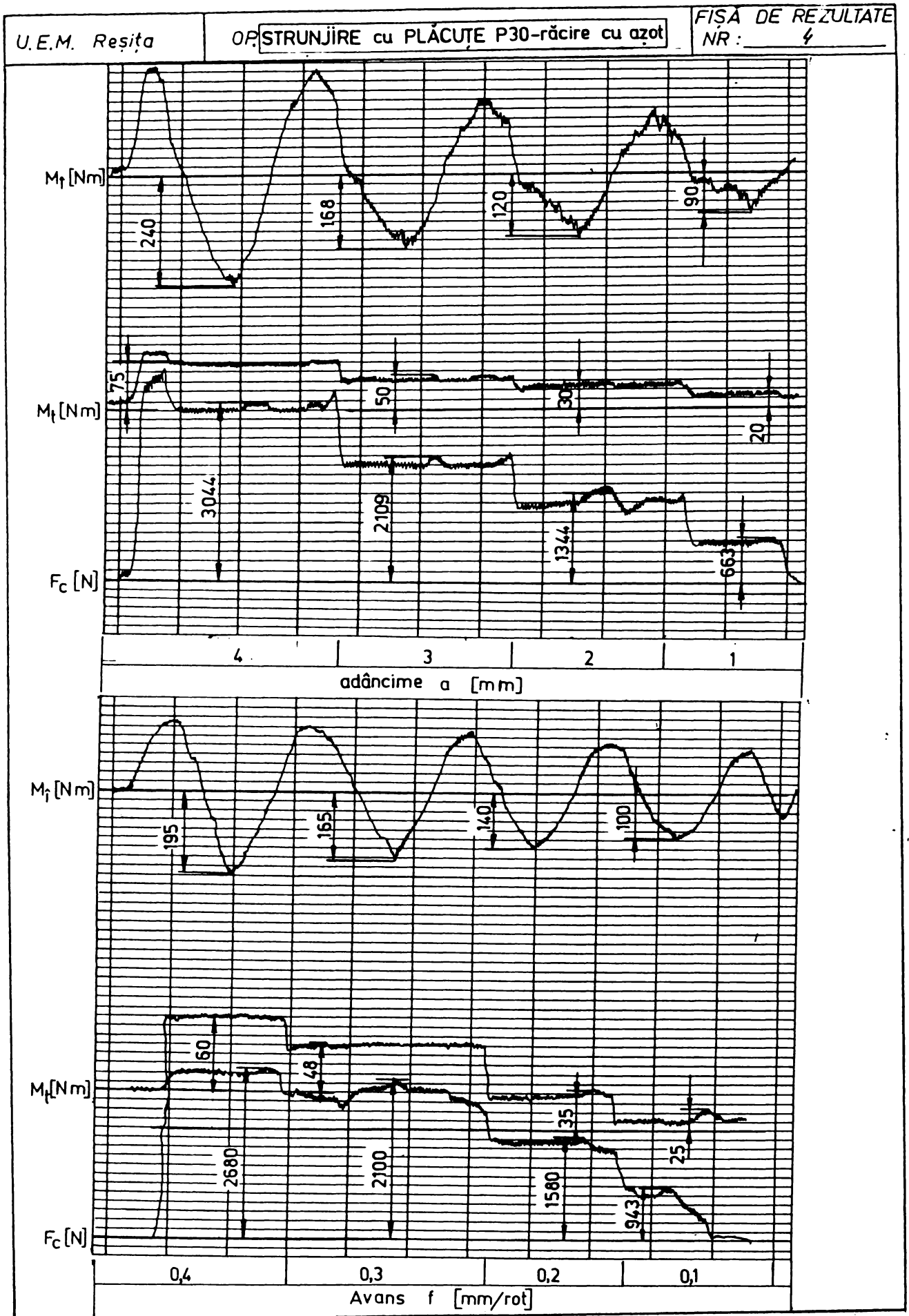
Din analiza diagramelor trasate se poate constata:

1. La strunjirea cu plăcuțe din **carburi metalice P30**, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, forța principală de așchiere **scade cu 10...15%**.
2. La strunjirea cu plăcuțe din **oțel rapid Rp3**, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, forța principală de așchiere **scade cu 20...25%**.



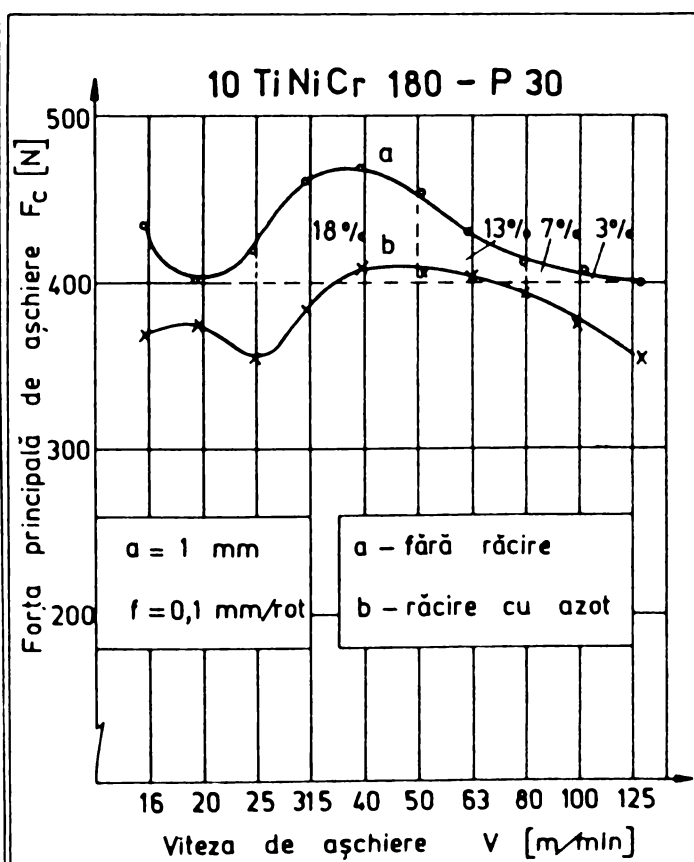


U.E.M. Reșița		OP: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P30-răcire cu azot		FISA DE REZULTATE NR: 3	
Cuplu de materiale	Valorile succesive constante ale regimului de așchiere		Mediu de răcire		
10 TiNiCr 180 - P 30	a = 3 mm	f = 0,3 mm/rot	V = 78,5 m/min	Răcire cu azot	
	171	170	187	191	188
	170	173	175	170	170
	M _f [Nm]				
	2400	2451	2408	2250	2215
	2200	2181	2187	2187	2187
	F _c [N]				
	15,70	25,15	31,40	39,25	50,25
				78,5	94,75
					125,7
	Viteza de așchiere V [m/min]				



U.E.M. Reșița		OPERAȚIA: <u>STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P30</u>				FIȘA DE REZULTATE NR: <u>5</u>	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5$ kw	Material P 30	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber / matrită)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 12^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_T = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut / precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere; $a = 1$ mm		1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire			
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru; $f = 0,1$ mm/rot		2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)			
3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere; $v = \text{variabilă}$ m/min		3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei			
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru; $n = \text{variabilă}$ rot/min		4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)			

DIAGrame (GRAFICE)



TABEL DE REZULTATE

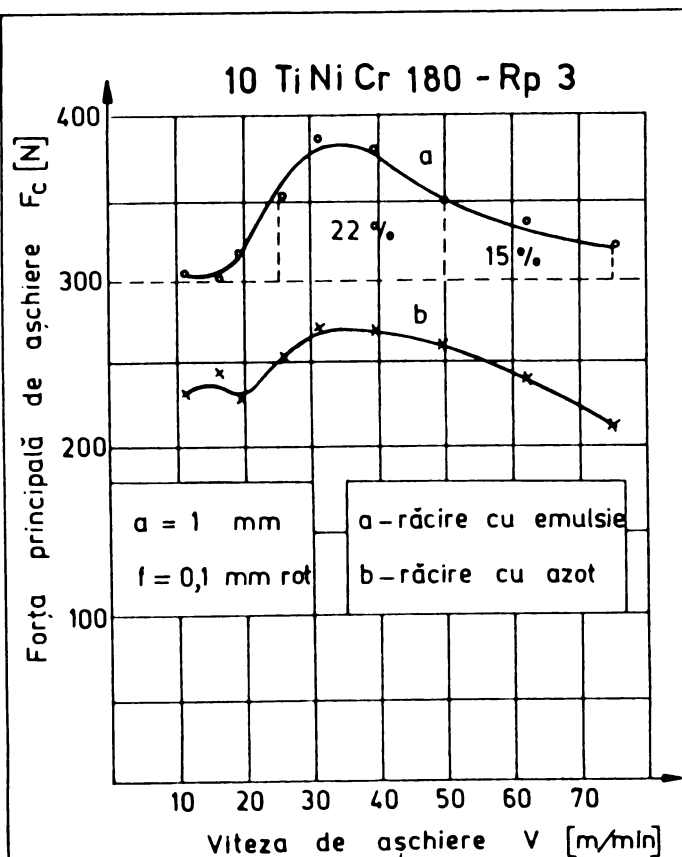
Variabila de decizie	Funcția obiectiv			
Den. <u>VITEZA</u>	Denumire: <u>FORTA</u>			
Simb. <u>v</u>	Simbol: <u>F_c</u>			
Unit. <u>m/min</u>	Unitate: <u>N</u>			
Nr. def.	Criteriu	Valoarea		
		uscăt	azot	calculată
1	15,70	439	365	360
2	19,65	388	370	360
3	25,75	419	354	360
4	31,40	460	381	432
5	39,25	469	410	432
6	50,25	450	412	414
7	62,80	435	403	414
8	78,50	411	390	396
9	94,25	400	370	378
10	125,70	390	340	360

U.E.M. Reșita		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P30				FIȘA DE REZULTATE NR.: 6	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5$ kw	Material P30	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr 180	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la recelcald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 12^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_T = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V-ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere;		$a = 3$ mm	1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire		
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru;		$f = 0,3$ mm/rot	2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)		
3. <input type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere;		$v = \text{variabilă}$ m/min	3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei		
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru;		$n = \text{variabilă}$ rot/min	4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)		

DIAGrame (GRAFICE)		TABEL DE REZULTATE			
<p style="text-align: center;">10 TiNiCr 180 - P 30</p> <p>Forța principală de așchiere F_c [N]</p> <p>Viteza de așchiere V [m/min]</p> <p>$a = 3$ mm $f = 0,3$ mm/rot</p> <p>a - fără răcire b - răcire cu azot</p>		Variabila de decizie	Funcția obiectiv		
		Den. <u>VITEZA</u>	Denumire: <u>FORTA</u>		
		Simb. <u>v</u>	Simbol: <u>F_c</u>		
		Unit. <u>m/min.</u>	Unitate: <u>N</u>		
Nr. det.	Criteriu	Valoarea			
		uscăt	azot	calculată	
1	15,70	2480	2200	2412	
2	19,65	2457	2164	2412	
3	25,75	2510	2181	2412	
4	31,40	2883	2400	2892	
5	39,25	2860	2451	2892	
6	50,25	2790	2408	2774	
7	62,80	2678	2393	2774	
8	78,50	2606	2250	2652	
9	94,75	2500	2215	2533	
10	125,70	2420	2187	2412	

U.E.M. Reșița		OPERAȚIA : STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3				FISA DE REZULTATE NR : 7	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5$ kw	Material Rp 3	Durabilitate T = 15 min	Dimensiuni D (B×H) = 25×25	Nr. de dinți Z = 1	Material 10 TiNiCr 180	Dimensiuni ø 50 × 400
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\gamma = 15^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_r = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere ; $a = 1$ mm				1. <input type="checkbox"/> Fără răcire	
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru ; $f = 0,1$ mm/rot				2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)	
3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere ; $v =$ variabilă m/min				3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei	
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru ; $n =$ variabilă rot/min				4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)	

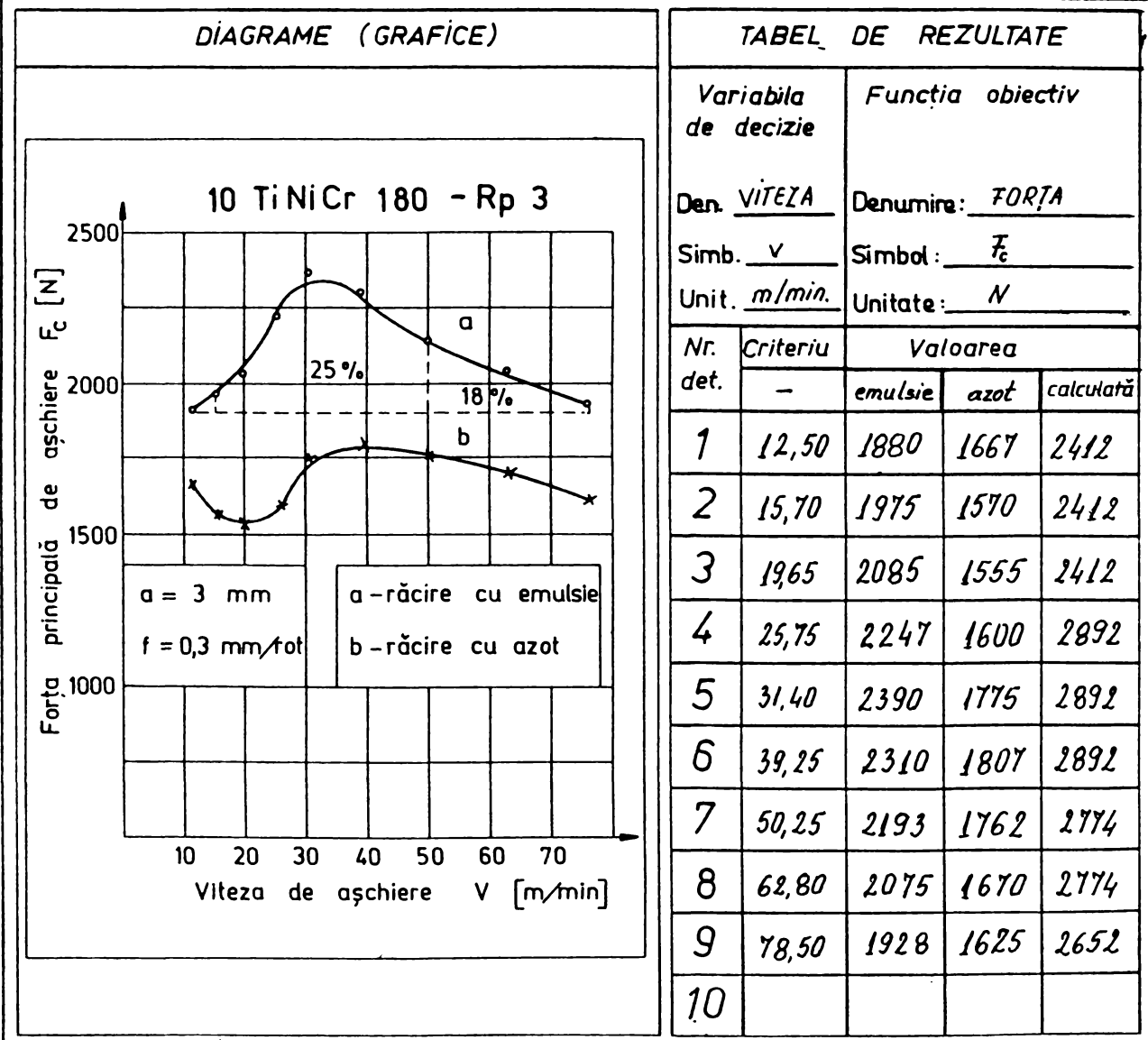
DIAGrame (GRAFICE)



TABEL DE REZULTATE

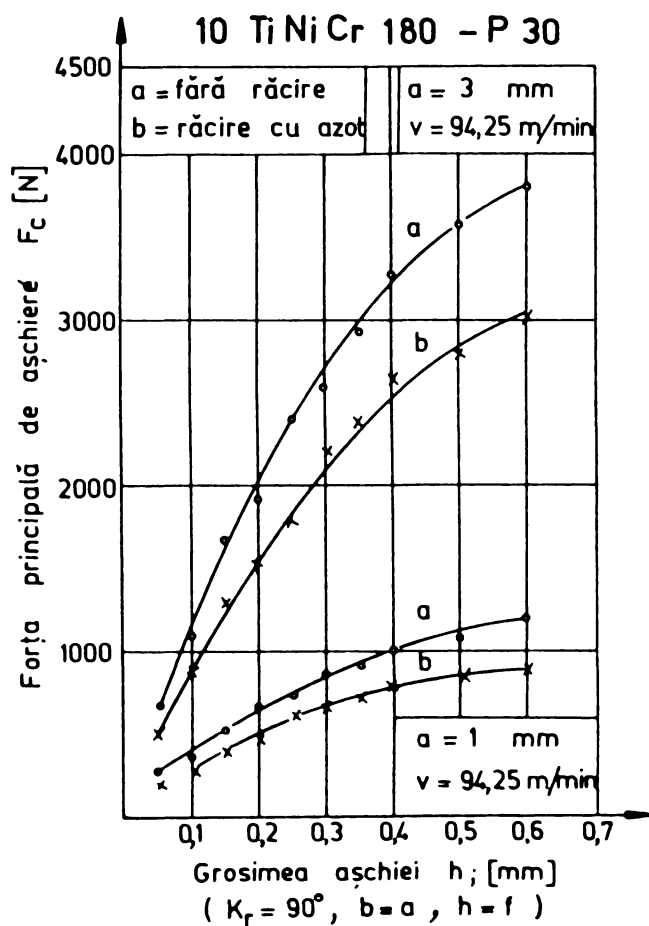
Variabila de decizie		Funcția obiectiv		
Den. <u>VITEZA</u>		Denumire: <u>FORȚA</u>		
Simb. <u>v</u>		Simbol: <u>F_c</u>		
Unit. <u>m/min.</u>		Unitate: <u>N</u>		
Nr. det.	Criteriu	Valoarea		
		-	emulsie	azot	calculată
1	12,50	305	235	360
2	15,70	300	241	360
3	19,65	320	232	360
4	25,75	345	257	432
5	31,40	389	273	432
6	39,25	380	270	432
7	50,25	347	262	414
8	62,80	336	240	414
9	78,50	320	210	396
10				

U.E.M. Reșita		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3				FISA DE REZULTATE NR: 8	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mU} = 7,5$ kw	Material Rp 3	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 15^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_r = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V-ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere; $a = 3$ mm		2. Avansul de lucru; $f = 0,3$ mm/rot		1. <input type="checkbox"/> Fără răcire	
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		3. Viteza de așchiere; $v = \text{variabilă}$ m/min		4. Turația de lucru; $n = \text{variabilă}$ rot/min		2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apa)	
3. <input type="checkbox"/> Finisare						3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei	
4. <input type="checkbox"/> Netezire						4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot/azot)	



U.E.M. Reșița		OPERAȚIA : STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P30				FISA DE REZULTATE NR : 9	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5$ kW	Material P 30	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10 Ti Ni Cr 180	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFĂBRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrice (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 12^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_T = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere ;		$a = 3$ mm	1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire		
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru ;		$f = \text{variabil}$ mm/rot	2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)		
3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere ;		$v = 94,25$ m/min	3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei		
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru ;		$n = 600$ rot/min	4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)		

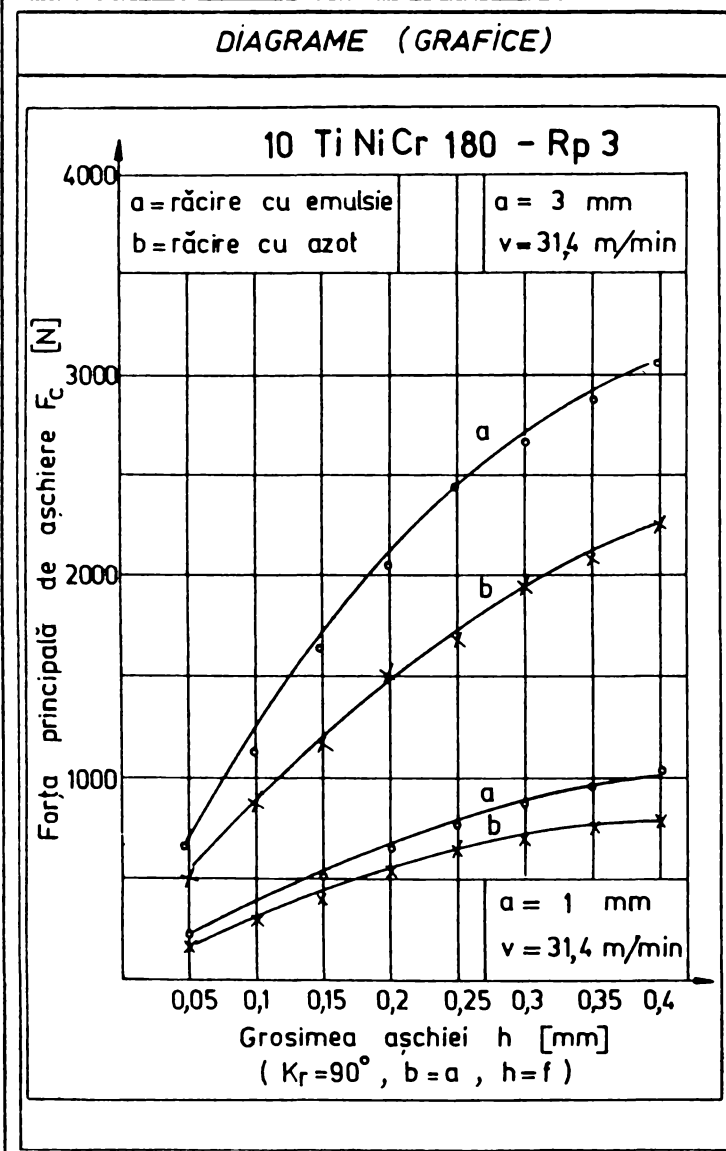
DIAGrame (GRAFICE)



TABEL DE REZULTATE

Variabila de decizie		Funcția obiectiv		
Den. AVANS		Denumire: FORTĂ		
Simb. f		Simbol: F_c		
Unit. mm/rot		Unitate: N		
Nr. det.	Criteriu	Valoarea		
		uscă	azot	calculată
1	0,05	732	595	720
2	0,10	1144	940	1191
3	0,15	1625	1304	1599
4	0,20	1945	1580	1974
5	0,25	2200	1736	2325
6	0,30	2580	2100	2625
7	0,35	2952	2471	2970
8	0,40	3250	2678	3273
9	0,50	3600	2800	3855
10	0,60	3777	3020	4401

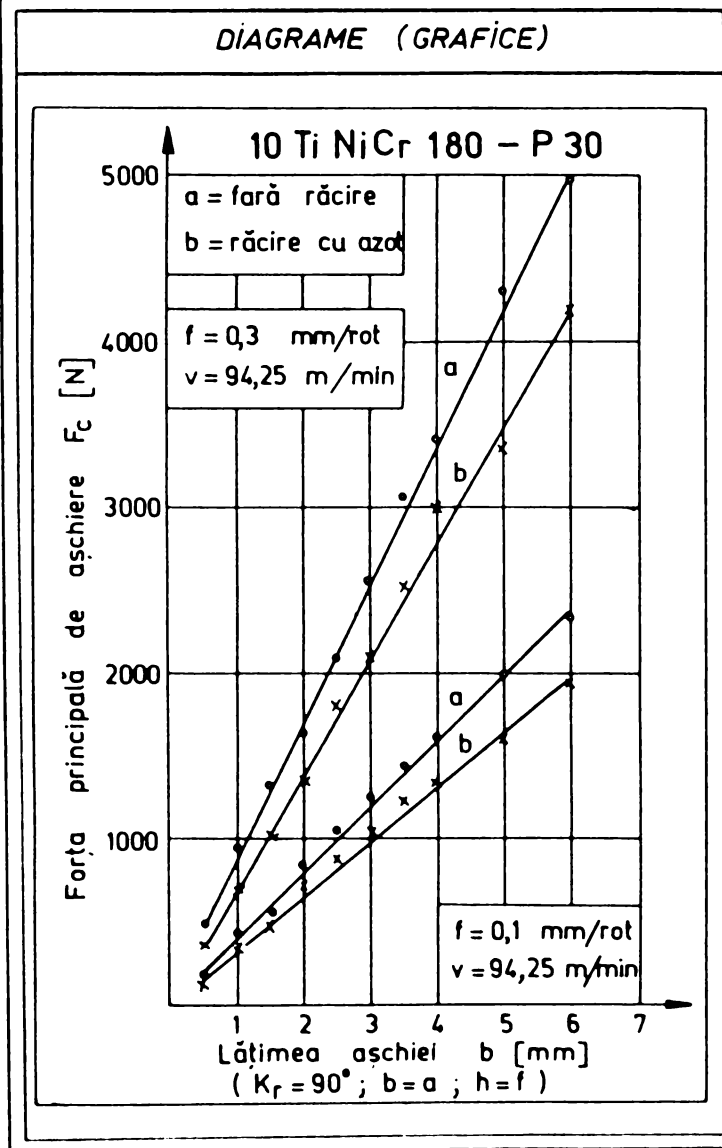
U.E.M. Reșița		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3				FISA DE REZULTATE NR: <u>10</u>	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{MV} = 7,5$ kw	Material Rp 3	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U 2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ + Vârf -UV 3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV 4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la recalcald) 2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber / matriță) 3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut / precis) 4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
		Parametrii geometrici (Unghiuri)					
		$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 15^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_T = 0^\circ$		
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare 2. <input type="checkbox"/> Semifinisare 3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare 4. <input type="checkbox"/> Netezire		1. Adâncimea de așchiere; $a = 3$ mm 2. Avansul de lucru; $f = \text{variabil}$ mm/rot 3. Viteza de așchiere; $v = 31,4$ m/min 4. Turația de lucru; $n = 200$ rot/min				1. <input type="checkbox"/> Fără răcire 2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă) 3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei 4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)	



TABEL DE REZULTATE

Variabila de decizie	Funcția obiectiv			
Den. <u>AVANS</u>	Denumire: <u>FORTĂ</u>			
Simb. <u>f</u>	Simbol: <u>F_c</u>			
Unit. <u>mm/rot</u>	Unitate: <u>N</u>			
Nr. det.	Criteriu	Valoarea		
		emulsie	azot	calculată
1	0,05	640	460	786
2	0,10	1158	870	1299
3	0,15	1667	1145	1746
4	0,20	2050	1480	2154
5	0,25	2445	1639	2535
6	0,30	2620	1915	2892
7	0,35	2940	2100	3240
8	0,40	3070	2277	3570
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-

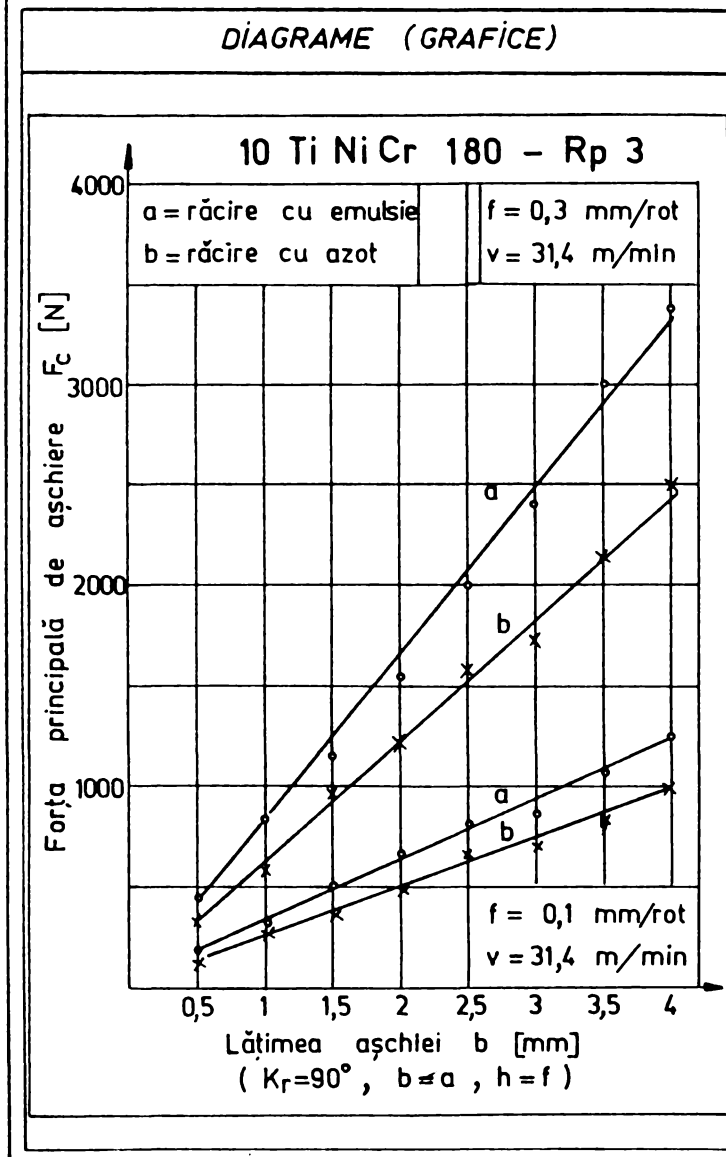
U.E.M. Reșita		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P 30				FIȘA DE REZULTATE NR: 11	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5 \text{ kw}$	Material P 30	Durabilitate $T = 15 \text{ min}$	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U 2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV 3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV 4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V-ULV		$l_0 = 16 \text{ mm}$	$s_0 = 4 \text{ mm}$	$r_0 = 1 \text{ mm}$	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la recelcald) 2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber / matriță) 3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut / precis) 4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
		Parametrii geometrici (Unghiuri)					
		$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 12^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_T = 0^\circ$		
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare 2. <input type="checkbox"/> Semifinisare 3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare 4. <input type="checkbox"/> Netezire		1. Adâncimea de așchiere; $a = \text{variabilă} \text{ mm}$ 2. Avansul de lucru; $f = 0,3 \text{ mm/rot}$ 3. Viteza de așchiere; $v = 94,25 \text{ m/min}$ 4. Turația de lucru; $n = 600 \text{ rot/min}$				1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire 2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă) 3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei 4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)	



TABEL DE REZULTATE

Variabila de decizie	Funcția obiectiv			
Den. ADÂNCIME	Denumire: FORȚĂ			
Simb. a	Simbol: \bar{F}_c			
Unit. mm	Unitate: N			
Nr. det.	Criteriu	Valoarea		
		uscăt	azot	calculată
1	0,5	460	366	442
2	1,0	915	663	884
3	1,5	1373	1007	1326
4	2,0	1602	1344	1768
5	2,5	2175	1881	2210
6	3,0	2563	2109	2652
7	3,5	3089	2517	3094
8	4,0	3433	3044	3536
9	5,0	4302	3365	4420
10	6,0	5000	4235	5304

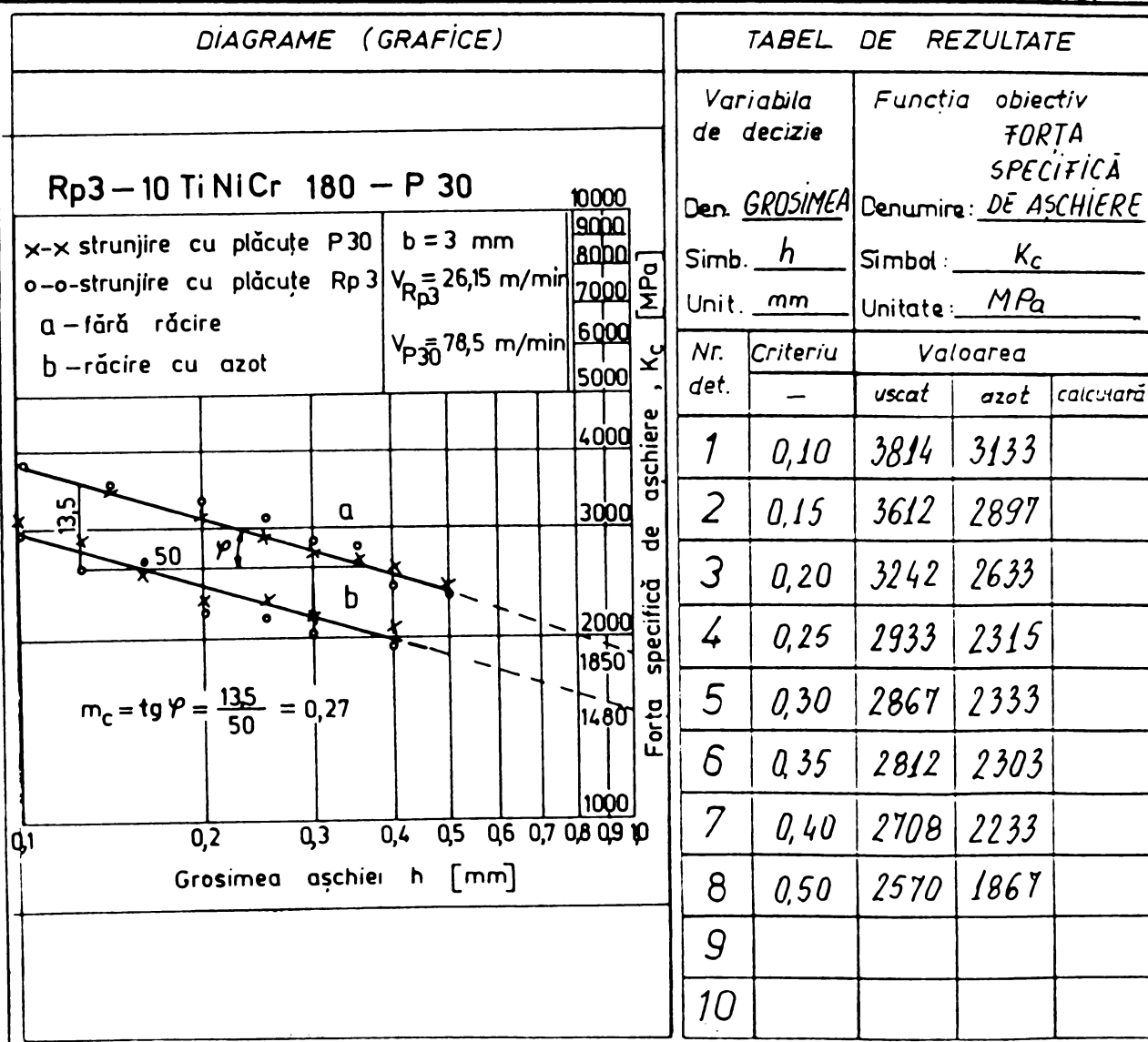
U.E.M. Reșita		OPERAȚIA :STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3				FISA DE REZULTATE NR : 12	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu}=7,5$ kw	Material Rp 3	Durabilitate $T=15$ min	Dimensiuni $D(B \times H)=25 \times 25$	Nr. de dinți $Z=1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0=16$ mm	$s_0=4$ mm	$r_0=1$ mm	$z_0=1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber / matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha=6^\circ$	$\beta=15^\circ$	$K_r=90^\circ$	$\lambda_T=0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut / precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V-ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere ;		$a = \text{variabilă}$ mm		1. <input type="checkbox"/> Fără răcire	
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru ;		$f = 0,3$ mm/rot		2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)	
3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere ;		$v = 31,4$ m/min		3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei	
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru ;		$n = 200$ rot/min		4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot / azot)	



TABEL DE REZULTATE

Variabila de decizie	Funcția obiectiv			
Den. <u>ADÂNCIME</u>	Denumire: <u>FORȚĂ</u>			
Simb. <u>a</u>	Simbol: <u>F_c</u>			
Unit. <u>mm</u>	Unitate: <u>N</u>			
Nr. det.	Criteriu	Valoarea		
		emulsie	azot	calculată
1	0,5	412	343	482
2	1,0	825	580	984
3	1,5	1154	930	1446
4	2,0	1580	1260	1928
5	2,5	2014	1585	2410
6	3,0	2425	1783	2892
7	3,5	3044	2165	3374
8	4,0	3432	2525	3856
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-

U.E.M. Reșița		OPERAȚIA : STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3- P30				FIȘA DE REZULTATE NR : 13	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5$ kW	Material Rp3 - P30	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinti $Z = 1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la recelcald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrice (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (überl matrită)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 12..15^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_r = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ+Lunetă+V-ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere ;		$a = 3$ mm	1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire		
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru ;		$f = \text{variabil}$ mm/rot	2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)		
3. <input type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere ;		$v = 78,50$ m/min	3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei		
4. <input type="checkbox"/> Nerezire		4. Turația de lucru ;		$n = 500$ rot/min	4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)		



3. Forța principală de aşchiere este influențată de viteza de aşchiere - după o funcție cubică, de avans (grosime) - după o funcție putere, și liniar - de adâncimea de aşchiere (lățimea aşchiei).

4. Influența vitezelor de aşchiere asupra forței principale de aşchiere este determinată de valorile de lucru admise, de materialul plăcuțelor.

5. La strunjirea cu plăcuțe din **carburi metalice P30 - la viteze mari ($v > 125$ m/min.)**, precum și la strunjirea cu plăcuțe din **oțel rapid Rp3 - la viteze mici ($v < 25$ m/min.)**, influența vitezei asupra forței principale de aşchiere se poate neglija.

6. Pentru **ambele tipuri de plăcuțe** - în domeniul de viteze **$25 < v < 125$ m/min.** - forța de aşchiere este **dependentă** de viteza de aşchiere și **crește** cu:

- **20%** - pentru viteze cuprinse între 25 și 50 m/min.;
- **15%** - pentru viteze cuprinse între 50 și 75 m/min.;
- **10%** - pentru viteze cuprinse între 75 și 100 m/min.;
- **5%** - pentru viteze cuprinse între 100 și 125 m/min.

7. Forța principală de aşchiere atinge un **maxim** în zona **vitezelor critice (25...35 m/min.)** - când depunerile de pe tăiș încep să se desprindă, și **scade continuu**, până la o anumită valoare.

8. Câmpul acestui maxim depinde de **avans (grosime)** și la avansuri mici, el este mai puțin accentuat, și deplasat înspre viteze de aşchiere mai mari.

9. **Azotul lichid** favorizează **deplasarea maximumului spre dreapta**, de la viteze de 25...30 m/min., la viteze de 30...35 m/min.

10. Forța specifică de aşchiere, la răcirea cu azot, se reduce - față de prelucrarea fără răcire - **cu un procent constant, de 20% ($k_1 = 0,8$)** și cu **același coeficient de influență ($m_c = 0,27$)** al grosimii aşchiei. Relația de calcul corectată va fi:

$$k_c = 1.850 \left(1 - \frac{20}{100}\right) \cdot h^{-0,27} = 1.480 \cdot h^{-0,27} \text{ [MPa]}. \quad (3.6)$$

Tendențele constatate justifică răcirea criogenică prin **pulverizare** a azotului lichid - când este preponderent efectul de reducere a forței de aşchiere, față de răcirea prin **inundare** cu azot lichid a interiorului piesei - când este preponderent cel de-al doilea efect, de creștere a forței de aşchiere. Scăderea forței principale de aşchiere la răcirea criogenică cu azot lichid, comparativ cu strunjirea obișnuită, reduce puterea necesară de aşchiere.

3.4. Influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra calității suprafeței prelucrate

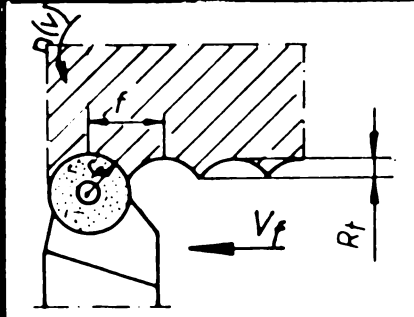
3.4.1. Considerații teoretice

Răcirea criogenică are o influență deosebită asupra calității suprafeței prelucrate, în cazul prelucrărilor de finisare, și se referă atât la netezimea suprafeței cât și la calitatea stratului superficial obținut după așchiere.

Netezimea suprafeței este dată prin clasa de rugozitate (**N**), care se exprimă teoretic prin parametrul R_t și - practic - se evidențiază prin parametrul R_a .

Correspondența ISO dintre clasa de rugozitate și parametrii de rugozitate este dată în tabelul 3.12.

Tabelul 3.12

Parametrii	Correspondența ISO								
Clasa	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Abateră medie R_a [μm]	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Rugozitatea teoretică R_t [μm]	1,25	2,50	5,00	8,00	16,0	31,5	50,0	100	200
	Netezire			Finisare			Degroșare		
	$R_t = 6,25 R_a$			$R_t = 5,00 R_a$			$R_t = 4,00 R_a$		

Relația de calcul a rugozității teoretice (R_t) la strunjire, conform [1], [24], [86], este:

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_0} \cdot 1.000 \text{ } [\mu\text{m}] , \quad (3.7)$$

în care: f - avansul [mm/rot.];
 r_0 - raza la vârf a cuțitului [mm].

Factorii principali de influență asupra netezimii suprafeței prelucrate sunt:

- 1 - materialul piesei de prelucrat;
- 2 - geometria sculei, prin raza la vârf (r_0) și unghiurile de atac K_r și K_{r1} ;
- 3 - parametrii regimului de așchiere, îndeosebi prin avans și viteză;
- 4 - mediul de răcire.

Microduritatea stratului superficial (HV) și adâncimea stratului ecruizat (H_t) sunt deasemenea influențate de răcirea criogenică cu azot lichid.

3.4.2. Fișe de rezultate

Cu rugozimetrul portabil multi-parametru prezentat în § 2.3 s-au înregistrat diagramele de rugozitate pentru abaterea medie aritmetică a asperităților (R_a), precum și valorile celorlalți trei parametri de rugozitate:

- $R_t = R_y = R_{max}$ - înălțimea maximă a asperităților [μm];
- $R_v = R_z = R$ - înălțimea medie a asperităților [μm];
- S_m - distanța medie dintre vârfurile asperităților [mm].

Fiecare diagramă este însoțită de graficul de variație a procentului de aplatizare a vârfurilor asperităților α [%]. Valorile parametrului de rugozitate (R_a) obținute la strunjirea de finisare ($a=1$ mm, $f=0,1$ mm/rot.) a oțelului inoxidabil austenitic 10 TiNiCr 180, în funcție de viteza de așchiere, sunt date în tabelele 3.13 și 3.14.

10 TiNiCr 180 - P10

Tabelul 3.13

Viteza de așchi- ere	n [rot./ min.]							
	100	125	200	320	500	800	1.000	1.250
	v [m/ min.]							
	15,70	19,65	31,40	50,25	78,50	125,70	157,00	196,3
R_a [μm]-U*	5,669	6,606	4,806	3,352	2,784	2,116	2,016	1,938
R_a [μm]-A**	2,635	2,687	2,279	1,251	1,171	0,972	0,958	0,844

*) uscată (fără răcire);

**) răcire cu azot.

10 TiNiCr 180 - Rp3

Tabelul 3.14

Viteza de așchi- ere	n [rot./ min.]							
	100	125	160	200	250	320	400	500
	v [m/ min.]							
	15,70	19,65	25,15	31,40	39,25	50,25	62,80	78,50
R_a [μ m]-E*	4,333	4,387	4,481	3,971	3,759	3,153	2,497	2,253
R_a [μ m]-A**	1,092	1,116	1,339	1,234	0,952	0,894	0,799	0,671

*) răcire cu emulsie; **) răcire cu azot.

Valorile parametrului de rugozitate R_a , în funcție de avans, pentru diferite adâncimi de așchiere, la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice P10 ($v=157$ m/min.), sunt date în

10 TiNiCr 180 - P10

Tabelul 3.15

Avansul f [mm/rot.]	Fără răcire			Răcire cu azot		
	Adâncimea de așchiere a [mm]					
	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
0,05	2,227	2,016	2,090	1,017	0,852	1,082
0,10	2,513	2,467	2,856	1,182	1,172	1,191
0,15	3,648	3,253	3,174	1,695	1,409	1,749
0,20	4,474	4,217	4,381	1,936	1,874	2,498
0,25	5,640	5,559	6,066	2,571	3,143	3,336
0,30	6,551	6,299	6,371	3,327	3,292	4,240
0,40	8,267	8,021	9,070	3,720	4,745	5,265
0,50	12,070	13,050	13,030	4,348	6,813	7,605

tabelul 3.15, iar cele obținute la strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid Rp3 ($v=39,25$ m/min.), sunt date în tabelul 3.16.

10 TiNiCr 180 - Rp3

Tabelul 3.16

Avansul f [mm/rot.]	Răcire cu emulsie		Răcire cu azot	
	Adâncimea de aşchiere a [mm]			
	0,5	1,0	0,5	1,0
0,05	1,804	1,706	0,825	0,926
0,10	2,140	2,053	0,976	0,983
0,15	2,834	3,166	1,317	1,402
0,20	3,671	4,185	1,812	1,940
0,25	4,943	5,543	2,839	2,893

Valorile de microduritate ale stratului superficial, la strunjirea oțelului 10 TiNiCr 180, sunt date în tabelul 3.17.

10 TiNiCr 180

Tabelul 3.17

Adâncimea stratu- lului ecruisat H_t [mm]	Plăcuțe P10		Plăcuțe Rp3	
	Mediul de răcire			
	Fără răcire	Azot	Emulsie	Azot
0,05	3.700	3.010	2.865	2.660
0,10	2.970	3.190	2.530	2.850
0,15	2.650	3.007	2.440	2.938
0,20	2.260	2.890	2.150	2.720
0,25	2.230	2.440	2.050	2.410
0,35	1.960	2.010	1.975	1.976

Diagramele de înregistrare a parametrilor de rugozitate și graficele de variație ale rugozității și microdurității sunt prezentate în fișele de rezultate nr. 14...43, după cum urmează:

- **fișele de rezultate nr. 14...17** - diagramele de înregistrare a parametrilor de rugozitate la strunjirea de finisare a oțelului 10 TiNiCr 180 cu plăcuțe din carburi metalice P10, în funcție de viteza de așchiere;

- **fișa de rezultate nr. 18** - variația rugozitate-viteză de așchiere la strunjirea de finisare ($a=1$, $f=0,1$ mm) a oțelului 10 TiNiCr 180, cu plăcuțe din carburi metalice P10;

- **fișele de rezultate nr. 19...22** - diagramele de înregistrare a parametrilor de rugozitate la strunjirea de finisare a oțelului 10 TiNiCr 180 cu plăcuțe din oțel rapid Rp3, în funcție de viteza de așchiere;

- **fișa de rezultate nr. 23** - variația rugozitate-viteză de așchiere la strunjirea de finisare ($a=1$, $f=0,1$ mm) a oțelului 10 TiNiCr 180, cu plăcuțe din oțel rapid Rp3;

- **fișele de rezultate nr. 24...31** - diagramele de înregistrare a parametrilor de rugozitate la strunjirea de finisare a oțelului 10 TiNiCr 180 cu plăcuțe din carburi metalice P10, în funcție de avans și adâncime;

- **fișa de rezultate nr. 32** - variația rugozitate-avans la strunjirea de finisare ($a=1$, $v=157$ m/min.) a oțelului 10 TiNiCr 180, cu plăcuțe din carburi metalice P10;

- **fișele de rezultate nr. 33...36** - diagramele de înregistrare a parametrilor de rugozitate la strunjirea de finisare a oțelului 10 TiNiCr 180 cu plăcuțe din oțel rapid Rp3, în funcție de avans și adâncime;

- **fișa de rezultate nr. 37** - variația rugozitate-avans la strunjirea de finisare ($a=1$, $v=39,25$ m/min.) a oțelului 10 TiNiCr 180, cu plăcuțe din oțel rapid Rp3;

- **fișele de rezultate nr. 38...41** - diagramele de înregistrare a parametrilor de rugozitate la strunjirea de finisare a oțelului 10 TiNiCr 180 cu plăcuțe din carburi metalice P10, în funcție de avans și grosimea așchii.

- **fișa de rezultate nr. 42** - variația microduritate-adâncime de ecruisare la strunjirea oțelului 10 TiNiCr 180, cu plăcuțe din carburi metalice P10;

- **fișa de rezultate nr. 43** - variația microduritate-adâncime de ecruisare la strunjirea oțelului 10 TiNiCr 180, cu plăcuțe din oțel rapid Rp3.

U.E.M. Resita		OPSTRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-fără răcire			FISA DE REZULTATE				
					NR: 14				
DATE: NAME:	a f v 1.0 0.1 15.70	DATE: NAME:	a f v 1.0 0.1 18.65	DATE: NAME:	a f v 1.0 0.1 23.15	DATE: NAME:	a f v 1.0 0.1 31.40	DATE: NAME:	a f v 1.0 0.1 39.25
CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm
R _a =	5.669μm	R _a =	5.960μm	R _a =	5.605μm	R _a =	4.606μm	R _a =	3.870μm
R _z =	24.07μm	R _z =	23.71μm	R _z =	21.00μm	R _z =	23.03μm	R _z =	13.04μm
R _y =	34.07μm	R _y =	43.09μm	R _y =	23.06μm	R _y =	20.03μm	R _y =	20.09μm
S _m =	0.104mm	S _m =	0.120mm	S _m =	0.156mm	S _m =	0.209mm	S _m =	0.149mm
S =	0.102mm	S =	0.120mm	S =	0.148mm	S =	0.120mm	S =	0.148mm
tp(50%) =	42.80 %	tp(50%) =	23.20 %	tp(50%) =	43.40 %	tp(50%) =	31.60 %	tp(50%) =	47.60 %
tp CURVE		tp CURVE		tp CURVE		tp CURVE		tp CURVE	
tp(100%)		tp(100%)		tp(100%)		tp(100%)		tp(100%)	
PROFIL		PROFIL		PROFIL		PROFIL		PROFIL	
HOR: 0.8mm/DIV		HOR: 0.8mm/DIV		HOR: 0.8mm/DIV		HOR: 0.8mm/DIV		HOR: 0.8mm/DIV	
VER: 20μm/DIV		VER: 20μm/DIV		VER: 20μm/DIV		VER: 20μm/DIV		VER: 20μm/DIV	

U.E.M. Reșița			OPSTRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-fără răcire			FIȘA DE REZULTATE		
NR: 15								
DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 50.25	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 78.50	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 125.7	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 157.0	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 199.3				
CUT OFF: 0.80mm R _a = 3.352μm R _z = 12.09μm R _y = 17.00μm S _m = 0.100mm S = 0.101mm tp(50%)=49.60 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 2.784μm R _z = 10.06μm R _y = 17.00μm S _m = 0.091mm S = 0.103mm tp(50%)=41.20 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 2.116μm R _z = 7.132μm R _y = 13.05μm S _m = 0.093mm S = 0.087mm tp(50%)=47.40 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 2.810μm R _z = 8.533μm R _y = 9.903μm S _m = 0.086mm S = 0.095mm tp(50%)=44.00 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 1.938μm R _z = 5.897μm R _y = 8.431μm S _m = 0.055mm S = 0.037mm tp(50%)=45.20 %				
tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE				
tp(100%) 	tp(100%) 	tp(100%) 	tp(100%) 	tp(100%) 				
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL				
HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV 	HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV 	HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV 	HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV 	HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV 				

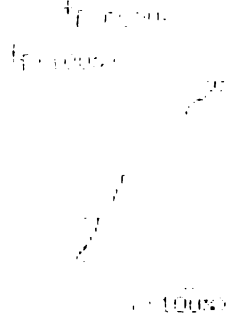
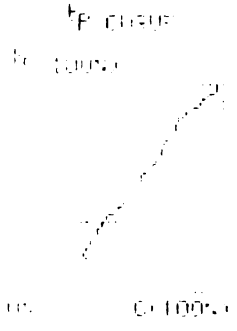
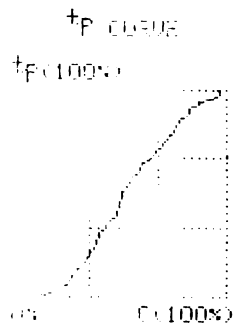
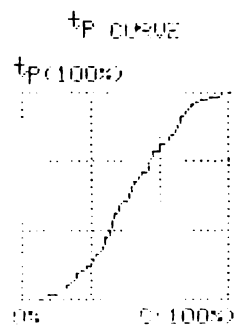

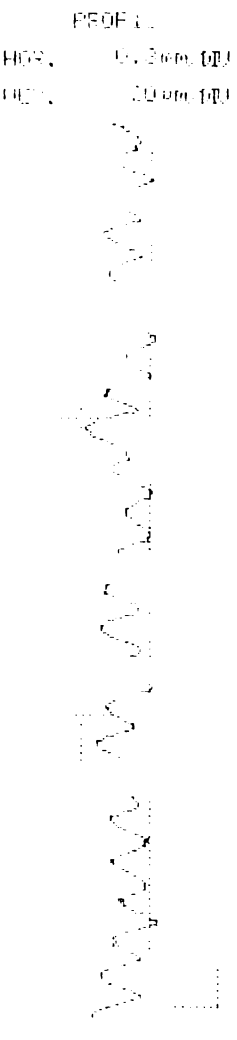
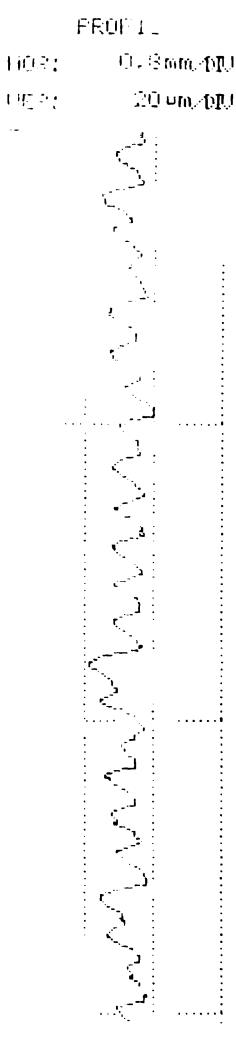
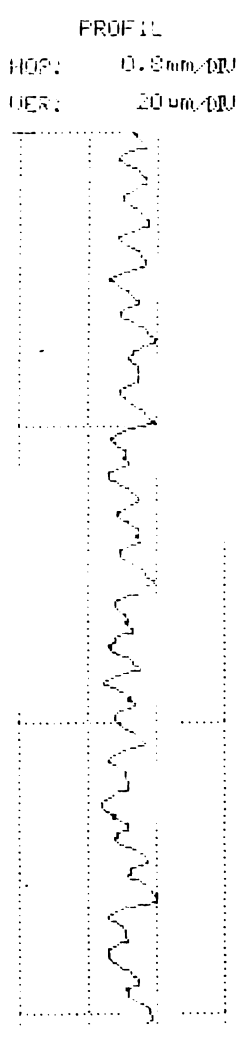
U.E.M. Reșița		OPSTRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-răcire cu azot				FISA DE REZULTATE NR: 16																	
a	f	v	a	f	v	DATE NAME	a	f	v	DATE NAME	a	f	v	DATE NAME	a	f	v	DATE NAME					
1.0	0.1	15.70	1.0	0.1	19.85	1.0	0.1	25.15	1.0	0.1	31.40	1.0	0.1	39.25									
CUT OFF: 0.80mm			CUT OFF: 0.80mm			CUT OFF: 0.80mm			CUT OFF: 0.80mm			CUT OFF: 0.80mm			CUT OFF: 0.80mm			CUT OFF: 0.80mm					
P _a = 2.635μm			P _a = 2.687μm			P _a = 2.756μm			P _a = 2.279μm			P _a = 1.539μm			P _a = 1.539μm			P _a = 1.539μm					
P _z =μm			P _z =μm			P _z =μm			P _z =μm			P _z =μm			P _z = 5.513μm			P _z = 5.513μm					
P _y = 17.00μm			P _y = 20.09μm			P _y = 18.06μm			P _y = 17.00μm			P _y = 17.00μm			P _y = 10.07μm			P _y = 10.07μm					
S _m = 0.117mm			S _m =mm			S _m = 0.085mm			S _m = 0.087mm			S _m = 0.087mm			S _m = 0.118mm			S _m = 0.118mm					
S _v = 0.164mm			S _v = 0.083mm			S _v = 0.091mm			S _v = 0.091mm			S _v = 0.142mm			S _v = 0.074mm			S _v = 0.074mm					
tp(50%) = 3.60 %			tp(50%) = 0.80 %			tp(50%) = 0.60 %			tp(50%) = 0.60 %			tp(50%) = 0.60 %			tp(50%) = 43.20 %			tp(50%) = 43.20 %					
tp CURVE			tp CURVE			tp CURVE			tp CURVE			tp CURVE			tp CURVE			tp CURVE					
tp(100%)			tp(100%)			tp(100%)			tp(100%)			tp(100%)			tp(100%)			tp(100%)					
PROFIL			PROFIL			PROFIL			PROFIL			PROFIL			PROFIL			PROFIL					
HOR: 0.8mm/10U			HOR: 0.8mm/10U			HOR: 0.8mm/10U			HOR: 0.8mm/10U			HOR: 0.8mm/10U			HOR: 0.8mm/10U			HOR: 0.8mm/10U					
VER: 20μm/10U			VER: 20μm/10U			VER: 20μm/10U			VER: 20μm/10U			VER: 20μm/10U			VER: 20μm/10U			VER: 20μm/10U					

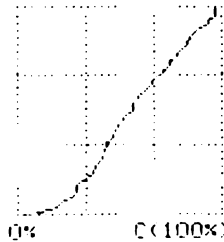

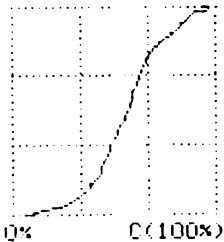
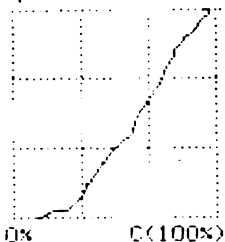
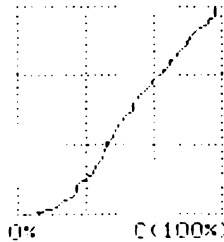

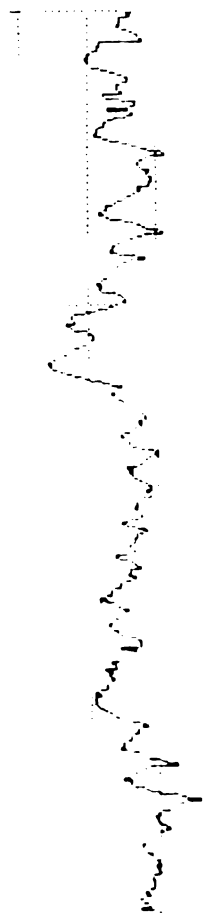

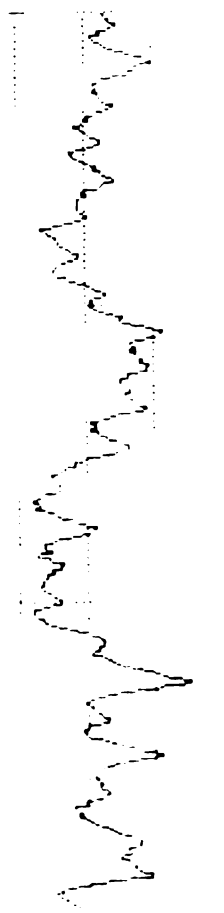

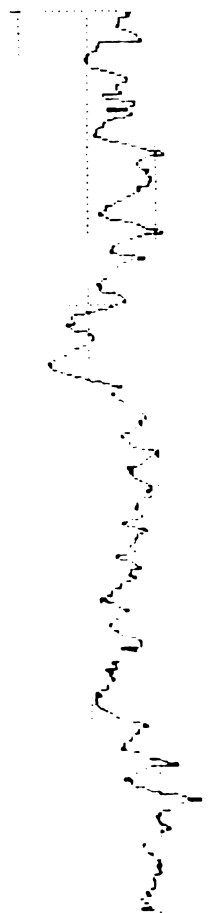

U.E.M. Reșita			OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-răcire cu azot			FISA DE REZULTATE NR: 17		
DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 50.25	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 78.50	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 125.7	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 157.0	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 198.3				
CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm				
$R_a = 0.951\mu m$	$R_a = 0.972\mu m$	$R_a = 0.972\mu m$	$R_a = 0.958\mu m$	$R_a = 0.844\mu m$				
$R_z = 3.18\mu m$	$R_z = 3.255\mu m$	$R_z = 3.255\mu m$	$R_z = 4.502\mu m$	$R_z = 3.376\mu m$				
$R_y = 7.102\mu m$	$R_y = 6.275\mu m$	$R_y = 6.275\mu m$	$R_y = 9.903\mu m$	$R_y = 7.255\mu m$				
$S_m = 0.113\mu m$	$S_m = 0.082\mu m$	$S_m = 0.082\mu m$	$S_m = 0.068\mu m$	$S_m = 0.079\mu m$				
$S = 0.098\mu m$	$S = 0.094\mu m$	$S = 0.094\mu m$	$S = 0.068\mu m$	$S = 0.080\mu m$				
$tp(50\%) = 10.01\%$	$tp(50\%) = 7.60\%$	$tp(50\%) = 43.20\%$	$tp(50\%) = 12.00\%$	$tp(50\%) = 51.60\%$				
TP CURVE	TP CURVE	TP CURVE	TP CURVE	TP CURVE				
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL				
HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV				
VER: 5um/DIV	VER: 5um/DIV	VER: 5um/DIV	VER: 5um/DIV	VER: 5um/DIV				

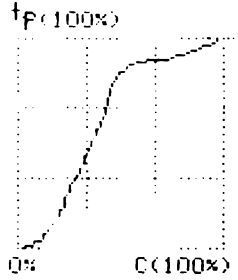
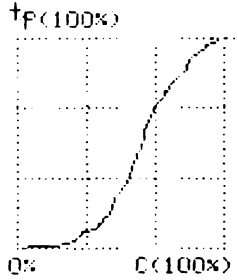
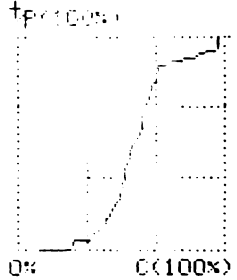
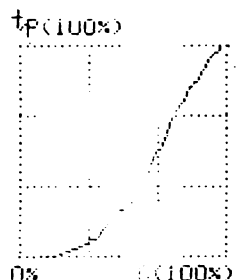
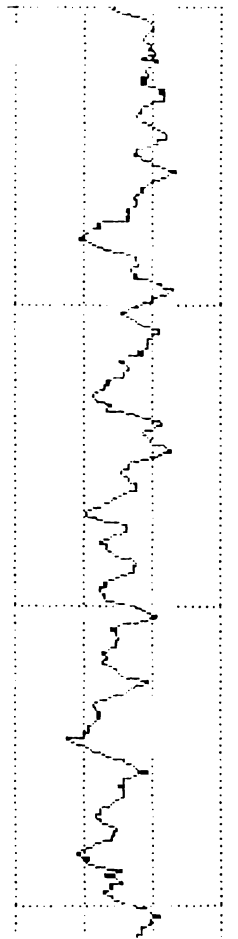
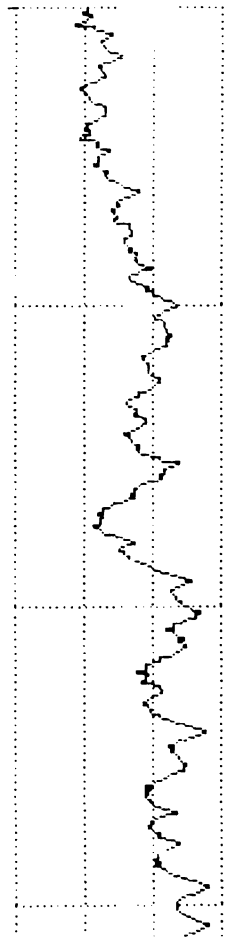
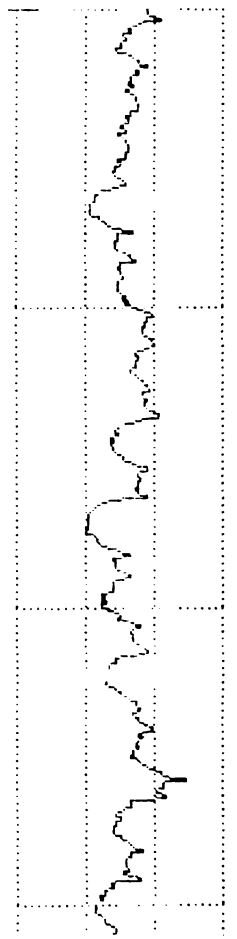
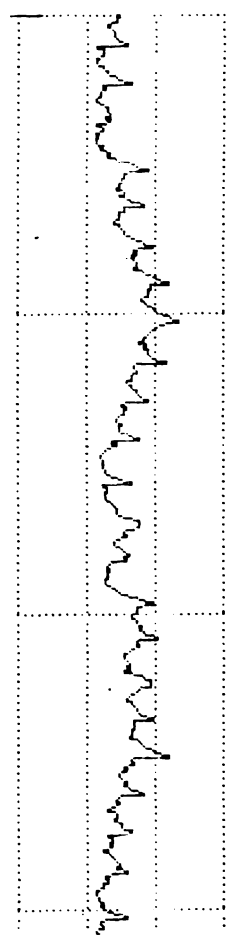
U.E.M. Reșița		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10				FISA DE REZULTATE NR: 18	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mU} = 7,5$ kw	Material P 10	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10 TiNiCr 180	Dimensiuni $\phi 50 \times 10/10$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\gamma = 12^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_r = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V-ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere; $a = 1$ mm				1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire	
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru; $f = 0,1$ mm/rot				2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)	
3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere; $v = \text{variabilă}$ m/min				3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei	
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru; $n = \text{variabilă}$ rot/min				4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)	

DIAGrame (GRAFICE)		TABEL DE REZULTATE			
<p style="text-align: center;">10 TiNiCr 180 - P 10</p> <p>a - fără răcire a = 1 mm b - răcire cu azot f = 0,1 mm rot</p>		<p>Variabila de decizie</p> <p>Den. <u>VITEZA</u> Denumire: <u>RUGOZITATE</u></p> <p>Simb. <u>v</u> Simbol: <u>Ra</u></p> <p>Unit. <u>m/min</u> Unitate: <u>µm</u></p>			
Nr. det.	Criteriu	Valoarea			
		uscat	azot	calculată	
1	15,70	5,669	2,635		
2	19,65	6,060	2,687		
3	25,15	5,606	2,756		
4	31,40	4,806	2,279		
5	39,25	3,870	1,539		
6	50,25	3,352	1,251		
7	78,50	2,784	1,171		
8	125,70	2,116	0,972		
9	157,00	2,010	0,958		
10	196,35	1,938	0,844		

U.E.M. Reșița		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3-răcire cu emulsie		FISA DE REZULTATE NR: 19	
DATE: a f v 1.0 0.1 15.70	DATE: a f v 1.0 0.1 18.65	DATE: a f v 1.0 0.1 25.15	DATE: a f v 1.0 0.1 31.40		
CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm		
R _a = 4.233μm	R _a = 4.387μm	R _a = 4.481μm	R _a = 3.971μm		
R _z = 12.05μm	R _z = 18.06μm	R _z = 16.01μm	R _z = 15.06μm		
R _y = 17.08μm	R _y = 30.03μm	R _y = 22.06μm	R _y = 27.00μm		
S _m = 0.185mm	S _m = 0.100mm	S _m = 0.141mm	S _m = 0.109mm		
S _v = 0.104mm	S _v = 0.102mm	S _v = 0.152mm	S _v = 0.092mm		
tp 50% = 41.00 %	tp 50% = 48.40 %	tp 50% = 41.00 %	tp 50% = 47.20 %		
tp curve	tp curve	tp curve	tp curve		
tp 100%	tp 100%	tp 100%	tp 100%		
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL		
HOR: 0.3mm/DU	HOR: 0.3mm/DU	HOR: 0.3mm/DU	HOR: 0.3mm/DU		
VER: 20μm/DU	VER: 20μm/DU	VER: 20μm/DU	VER: 20μm/DU		

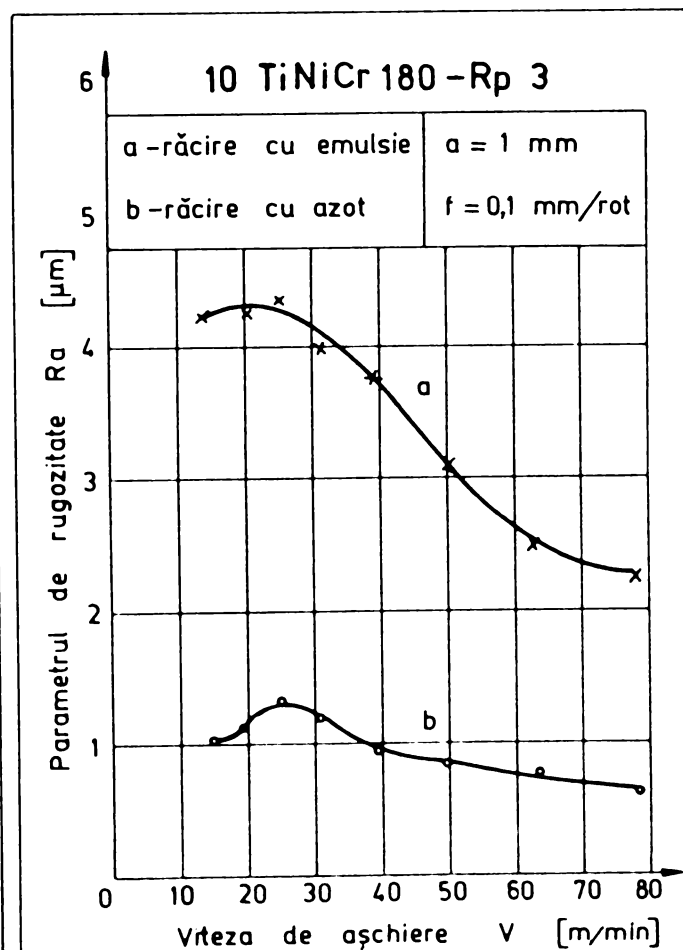
U.E.M. Reșița		OPSTRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3-răcire cu emulsie				FIȘA DE REZULTATE NR: 20			
DATE:	a f v	DATE:	a f v	DATE:	a f v	DATE:	a f v		
NAME:	1.0 0.1 39.25	NAME:	1.0 0.1 50.25	NAME:	1.0 0.1 82.80	NAME:	1.0 0.1 78.50		
CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm		
P ₁ =	1.759um	P ₁ =	2.193um	P ₁ =	2.497um	P ₁ =	2.253um		
P ₂ =	13.05um	P ₂ =	11.05um	P ₂ =	3.521um	P ₂ =	2.886um		
P ₃ =	21.01um	P ₃ =	19.00um	P ₃ =	10.07um	P ₃ =	14.03um		
S ₁₀ =	0.104mm	S ₁₀ =	0.105mm	S ₁₀ =	0.101mm	S ₁₀ =	0.085mm		
S ₅ =	0.105mm	S ₅ =	0.104mm	S ₅ =	0.108mm	S ₅ =	0.100mm		
tp(50%)	49.20 %	tp(50%)	41.20 %	tp(50%)	41.20 %	tp(50%)	43.00 %		
tp curve		tp curve		tp curve		tp curve			
PROFIL		PROFIL		PROFIL		PROFIL			
HOP:	0.8mm/DU	HOP:	0.8mm/DU	HOP:	0.8mm/DU	HOP:	0.8mm/DU		
UES:	20um/DU	UES:	20um/DU	UES:	20um/DU	UES:	20um/DU		

U.E.M. Reșita		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3-răcire cu azot		FISA DE REZULTATE NR: 22	
DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 15.70	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 19.65	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 25.15	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 31.40	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 15.70	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 19.65
CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm
R _a = 1.092μm	R _a = 1.116μm	R _a = 1.339μm	R _a = 1.234μm	R _a = 1.092μm	R _a = 1.116μm
R _z = 3.674μm	R _z = 3.904μm	R _z = 5.665μm	R _z = 4.926μm	R _z = 3.674μm	R _z = 3.904μm
R _y = 6.814μm	R _y = 8.628μm	R _y = 12.04μm	R _y = 9.510μm	R _y = 6.814μm	R _y = 8.628μm
S _m = 0.118mm	S _m = 0.111mm	S _m = 0.112mm	S _m = 0.105mm	S _m = 0.118mm	S _m = 0.111mm
S = 0.088mm	S = 0.107mm	S = 0.104mm	S = 0.108mm	S = 0.088mm	S = 0.107mm
tp(50%)=45.20 %	tp(50%)=40.00 %	tp(50%)=32.40 %	tp(50%)=34.40 %	tp(50%)=45.20 %	tp(50%)=40.00 %
tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE
tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)
					
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL
HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV
VER: 5μm/DIV	VER: 5μm/DIV	VER: 5μm/DIV	VER: 5μm/DIV	VER: 5μm/DIV	VER: 5μm/DIV
					

U.E.M. Reșita		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3-răcire cu azot		FISA DE REZULTATE NR: 22	
DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 39.25	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 50.25	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 62.80	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 78.50		
CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm		
$R_a = 1.952\mu m$	$R_a = 0.894\mu m$	$R_a = 0.799\mu m$	$R_a = 0.671\mu m$		
$R_z = 3.376\mu m$	$R_z = 3.041\mu m$	$R_z = 3.518\mu m$	$R_z = 3.027\mu m$		
$R_y = 6.324\mu m$	$R_y = 6.030\mu m$	$R_y = 5.294\mu m$	$R_y = 4.608\mu m$		
$S_m = 0.077mm$	$S_m = 0.088mm$	$S_m = 0.104mm$	$S_m = 0.074mm$		
$S = 0.096mm$	$S = 0.085mm$	$S = 0.101mm$	$S = 0.086mm$		
$t_p(50\%) = 85.20\%$	$t_p(50\%) = 29.60\%$	$t_p(5\%) = 0.400\%$	$t_p(5\%) = 0.800\%$		
TP CURVE	TP CURVE	TP CURVE	TP CURVE		
					
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL		
HOR: 0.8mm/DIV VER: 5um/DIV	HOR: 0.8mm/DIV VER: 5um/DIV	HOR: 0.8mm/DIV VER: 5um/DIV	HOR: 0.8mm/DIV VER: 5um/DIV		
					

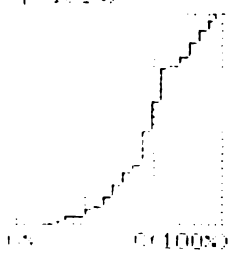
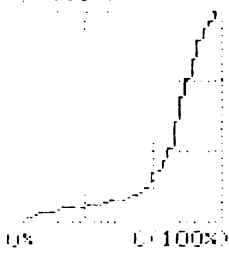
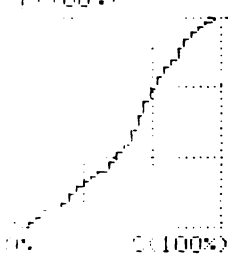
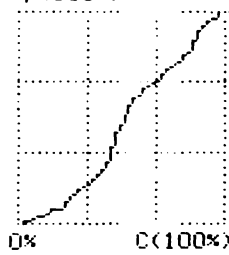
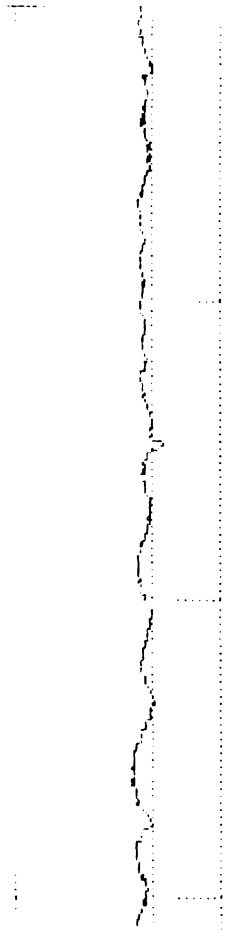
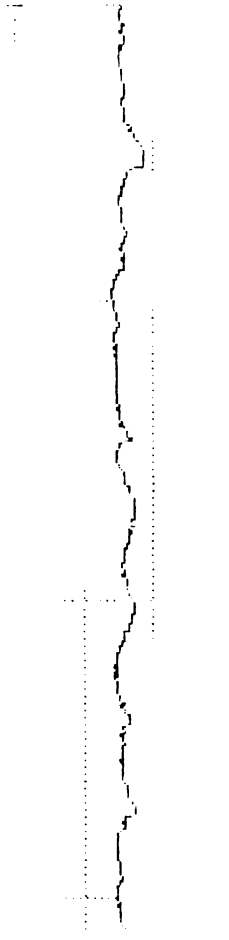
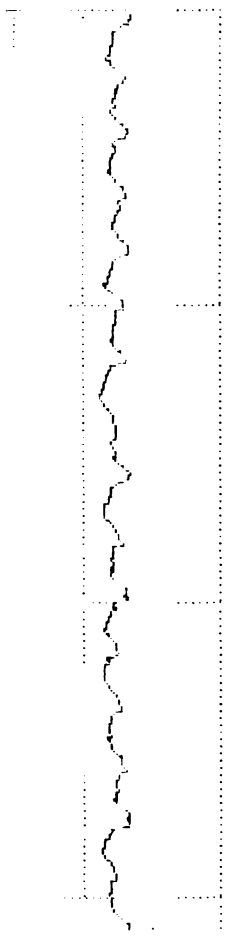
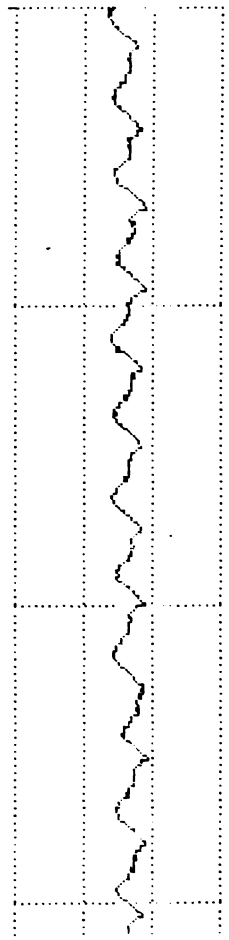
U.E.M. Reșița		OPERAȚIA :STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3				FISA DE REZULTATE NR : 23	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu}=7,5$ kw	Material Rp 3	Durabilitate $T=15$ min	Dimensiuni $D(B \times H)=25 \times 25$	Nr. de dinți $Z=1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 10 / 8$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0=16$ mm	$s_0=4$ mm	$r_0=1$ mm	$z_0=1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ.+Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha=6^\circ$	$\gamma=15^\circ$	$K_r=90^\circ$	$\lambda_T=0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ.+Lunetă+V-ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere ;		$a=1$ mm	1. <input type="checkbox"/> Fără răcire		
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru ;		$f=0,1$ mm/rot	2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)		
3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere ;		$v=variabilă$ m/min	3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei		
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru ;		$n=variabilă$ rot/min	4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)		

DIAGrame (GRAFICE)

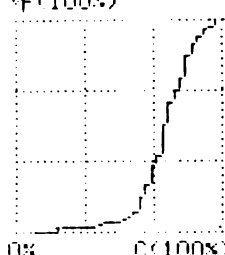
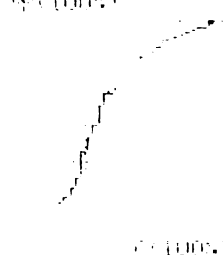
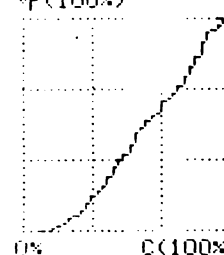
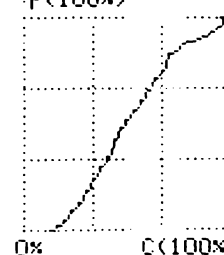
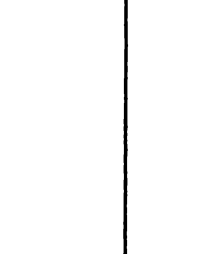
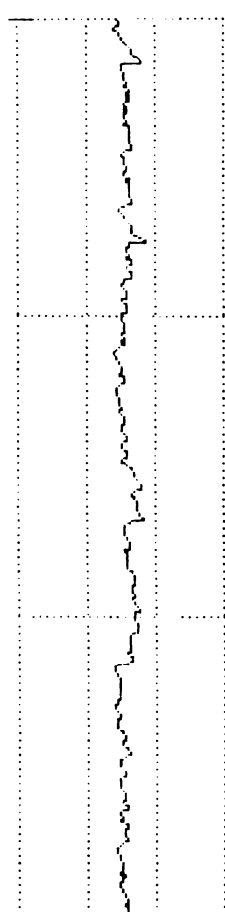
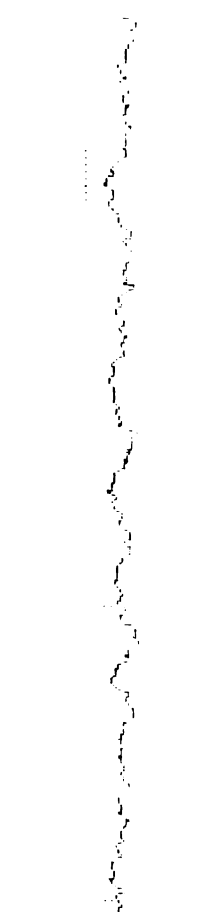
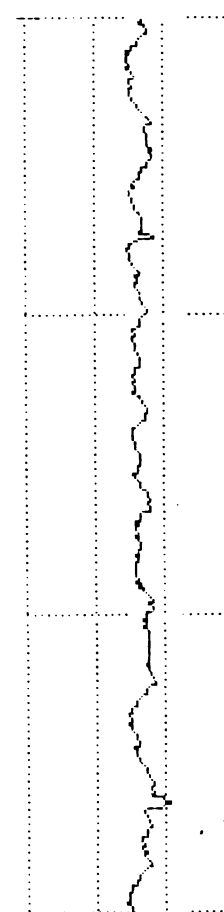
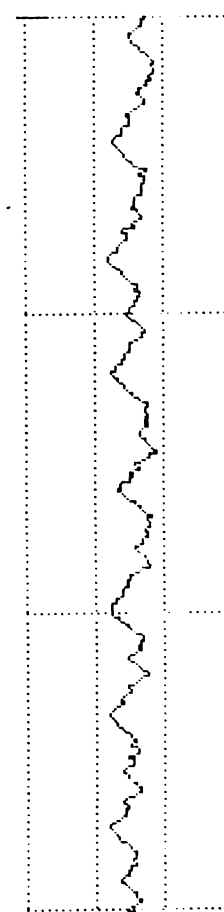
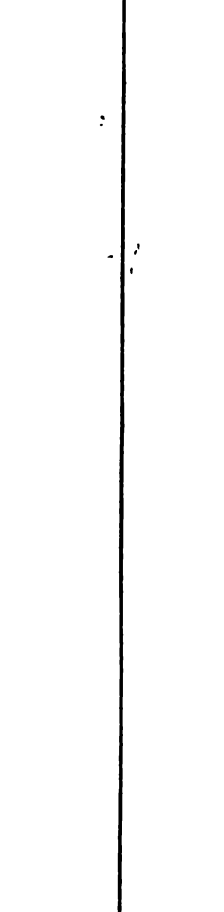


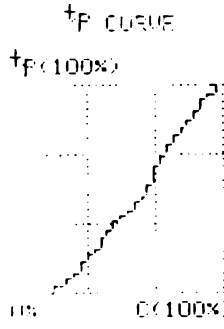
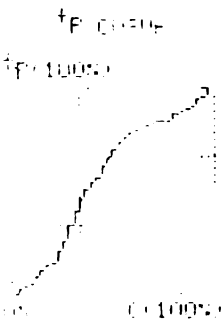
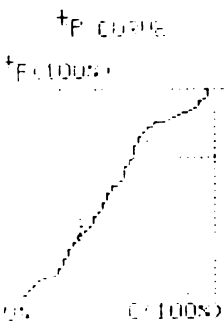
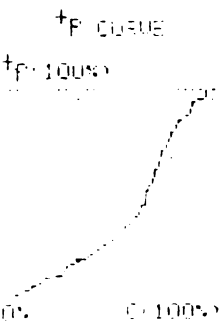
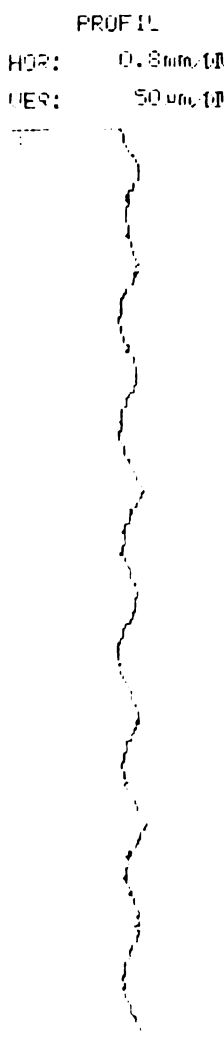
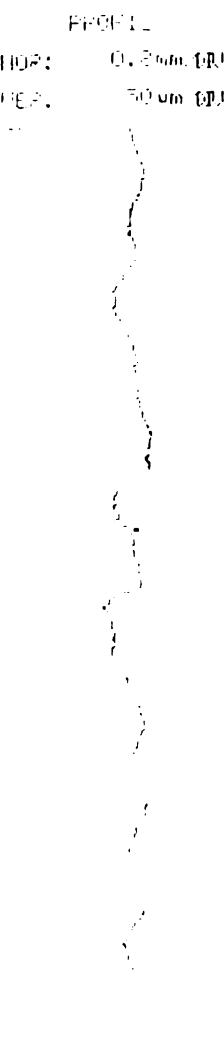
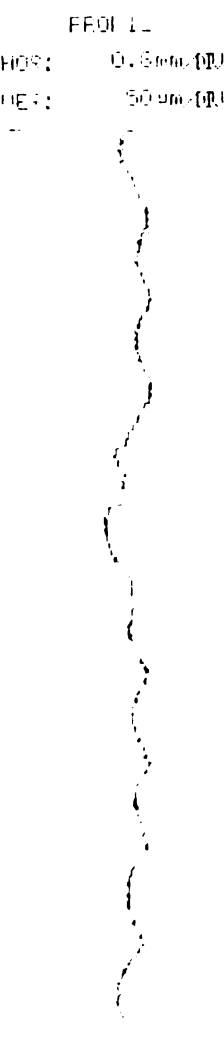
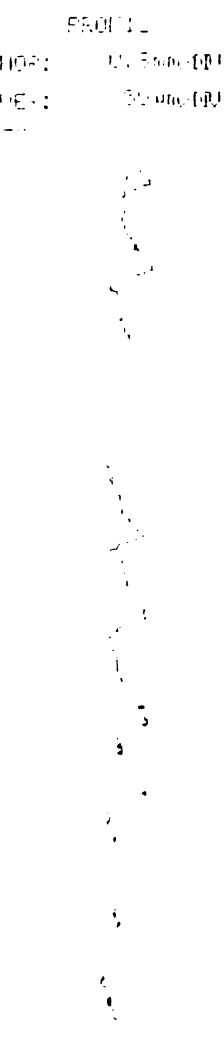
TABEL DE REZULTATE

Variabila de decizie	Funcția obiectiv			
Den. <u>VITEZA</u>	Denumire: <u>RUGOZITATE</u>			
Simb. <u>v</u>	Simbol: <u>Ra</u>			
Unit. <u>m/min</u>	Unitate: <u>μm</u>			
Nr. det.	Criteriu	Valoarea		
		emulsie	azot	calculată
1	15,70	4,333	1,092	
2	19,65	4,387	1,116	
3	25,15	4,481	1,339	
4	31,40	3,971	1,234	
5	39,25	3,759	0,952	
6	50,25	3,153	0,894	
7	62,80	2,497	0,799	
8	78,50	2,253	0,671	
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-

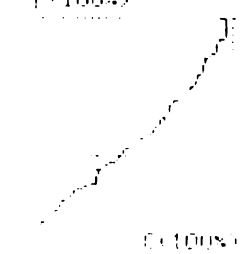
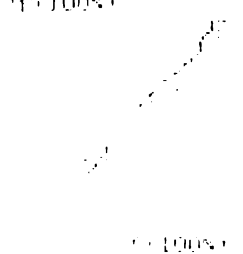

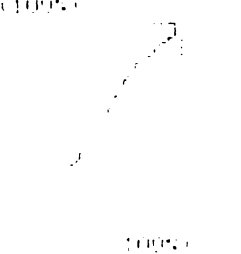
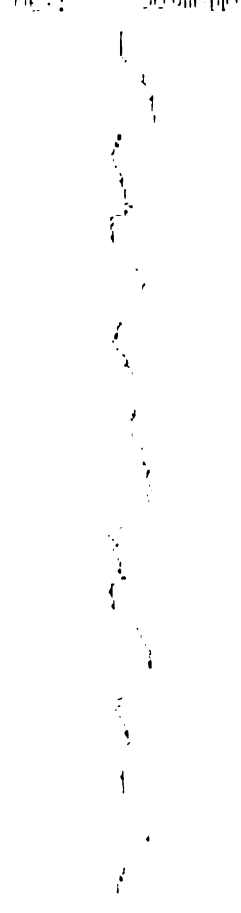


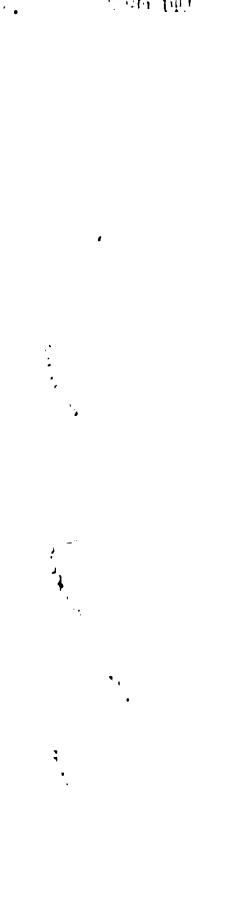
U.E.M. Resița		OPSTRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-fără răcire				FISA DE REZULTATE NR: 24			
DATE NAME	a f v 1.0 0.05 157	DATE NAME	a f v 1.0 0.1 157	DATE NAME	a f v 1.0 0.15 157	DATE NAME	a f v 1.0 0.2 157		
CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm		
R_a	2.016 μ m	R_a	2.467 μ m	R_a	3.253 μ m	R_a	4.217 μ m		
R_z	8.705 μ m	R_z	10.00 μ m	R_z	12.06 μ m	R_z	16.06 μ m		
R_y	17.06 μ m	R_y	17.06 μ m	R_y	21.00 μ m	R_y	22.05 μ m		
S_m	0.076mm	S_m	0.138mm	S_m	0.108mm	S_m	0.121mm		
S	0.053mm	S	0.047mm	S	0.089mm	S	0.116mm		
$tp(50\%)$	13.60 %	$tp(50\%)$	11.60 %	$tp(50\%)$	19.80 %	$tp(50\%)$	47.20 %		
tp CURVE		tp CURVE		tp CURVE		tp CURVE			
$tp(100\%)$		$tp(100\%)$		$tp(100\%)$		$tp(100\%)$			
PROFIL		PROFIL		PROFIL		PROFIL			
HOR:	0.8mm/10V	HOR:	0.8mm/10V	HOR:	0.8mm/10V	HOR:	0.8mm/10V		
VER:	50 μ m/10V	VER:	50 μ m/10V	VER:	50 μ m/10V	VER:	50 μ m/10V		
									

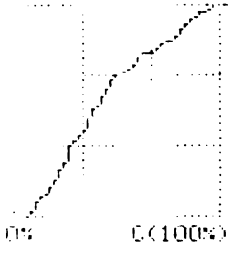
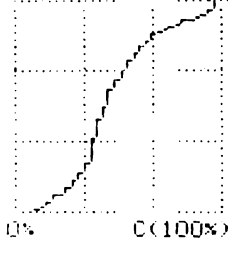
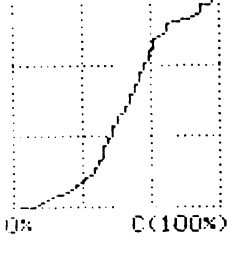
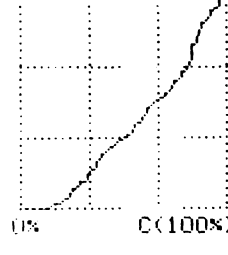
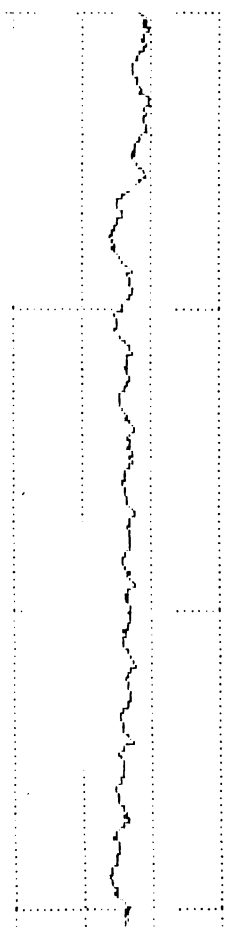
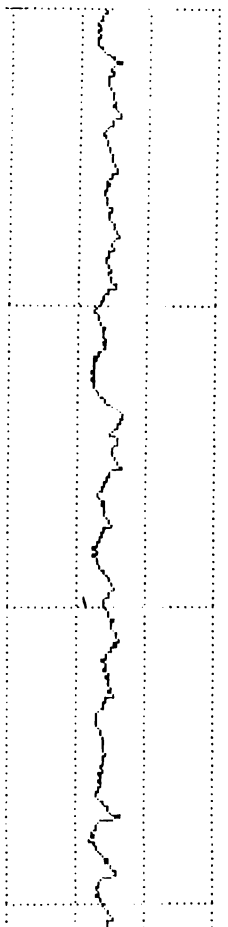
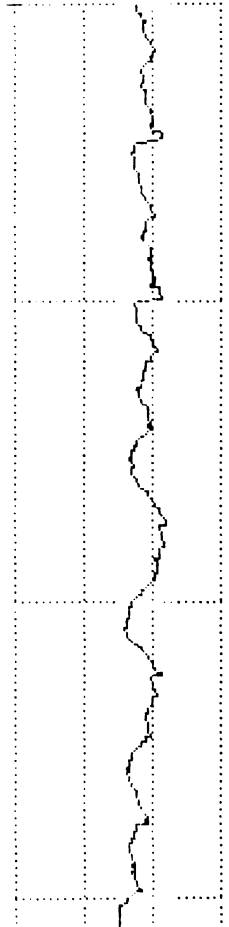
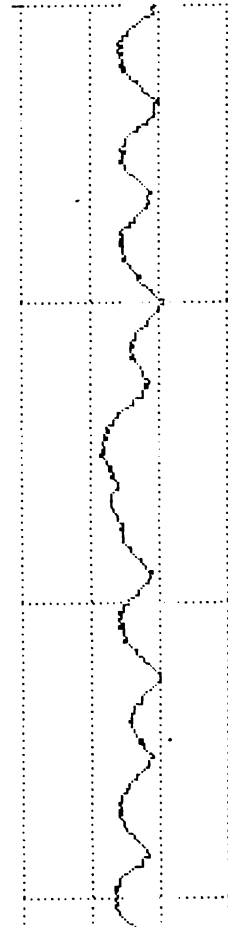
U.E.M. Reșita		OPSTRUNJIRE cu PLĂCUŢE P10-fără răcire		FISA DE REZULTATE NR: 25	
DATE: 1.0 0.25 157 NAME: 1.0 0.25 157 CUT OFF: 0.80mm $R_a = 5.559\mu m$ $R_z = 27.09\mu m$ $R_y = 24.00\mu m$ $S_m = 0.192mm$ $S_v = 0.073mm$ $tp(50\%) = 41.60\%$ tp CURVE tp(100%) 0% 0(100%) PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50µm/100	DATE: 1.0 0.3 157 NAME: 1.0 0.3 157 CUT OFF: 0.80mm $R_a = 6.299\mu m$ $R_z = \dots\mu m$ $R_y = 27.09\mu m$ $S_m = 0.195mm$ $S_v = 0.140mm$ $tp(50\%) = 50.80\%$ tp CURVE tp(100%) 0% 0(100%) PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50µm/100	DATE: 1.0 0.4 157 NAME: 1.0 0.4 157 CUT OFF: 0.80mm $R_a = 8.021\mu m$ $R_z = 71.07\mu m$ $R_y = 78.02\mu m$ $S_m = 0.237mm$ $S_v = 0.123mm$ $tp(50\%) = 77.40\%$ tp CURVE tp(100%) 0% 0(100%) PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50µm/100	DATE: 1.0 0.5 157 NAME: 1.0 0.5 157 CUT OFF: 0.80mm $R_a = 13.05\mu m$ $R_z = \dots\mu m$ $R_y = 57.06\mu m$ $S_m = 0.177mm$ $S_v = 0.222mm$ $tp(50\%) = 40.00\%$ tp CURVE tp(100%) 0% 0(100%) PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50µm/100		

U.E.M. Reșița		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-răcire cu azot		FIȘĂ DE REZULTATE NR: 26	
DATE: a f v NAME: 1.0 0.05 157	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 157	DATE: a f v NAME: 1.0 0.15 157	DATE: a f v NAME: 1.0 0.2 157	DATE: a f v NAME: 1.0 0.2 157	DATE: a f v NAME: 1.0 0.2 157
CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm
$R_a = 0.852\mu m$	$R_a = 1.172\mu m$	$R_a = 1.409\mu m$	$R_a = 1.874\mu m$	$R_a = 1.874\mu m$	$R_a = 1.874\mu m$
$R_z = 4.117\mu m$	$R_z = 7.280\mu m$	$R_z = 5.380\mu m$	$R_z = 10.07\mu m$	$R_z = 10.07\mu m$	$R_z = 10.07\mu m$
$R_y = 7.843\mu m$	$R_y = 9.411\mu m$	$R_y = 10.05\mu m$	$R_y = 11.03\mu m$	$R_y = 11.03\mu m$	$R_y = 11.03\mu m$
$S_m = 0.057mm$	$S_m = 0.095mm$	$S_m = 0.106mm$	$S_m = 0.095mm$	$S_m = 0.095mm$	$S_m = 0.095mm$
$S = 0.036mm$	$S = 0.052mm$	$S = 0.053mm$	$S = 0.082mm$	$S = 0.082mm$	$S = 0.082mm$
$tp(50\%) = 9.600\%$	$tp(50\%) = 10.00\%$	$tp(50\%) = 49.80\%$	$tp(50\%) = 53.20\%$	$tp(50\%) = 53.20\%$	$tp(50\%) = 53.20\%$
tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE
tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)
					
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL
HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV
VER: 20μm/DIV	VER: 20μm/DIV	VER: 20μm/DIV	VER: 20μm/DIV	VER: 20μm/DIV	VER: 20μm/DIV
					

U.E.M. Reșița			OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-răcire cu azot			FISA DE REZULTATE NR: 27		
DATE: NAME:	g f v 1.0 0.23 157	DATE: NAME:	g f v 1.0 0.3 157	DATE: NAME:	g f v 1.0 0.4 157	DATE: NAME:	g f v 1.0 0.5 157	
CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	
$R_a =$	3.143μm	$R_a =$	3.929μm	$R_a =$	4.745μm	$R_a =$	6.813μm	
$R_z =$	12.00μm	$R_z =$	14.07μm	$R_z =$	.....μm	$R_z =$	.....μm
$R_y =$	18.01μm	$R_y =$	27.04μm	$R_y =$	30.08μm	$R_y =$	31.08μm	
$S_m =$	0.091mm	$S_m =$	0.076mm	$S_m =$	0.081mm	$S_m =$	0.132mm	
$S =$	0.038mm	$S =$	0.032mm	$S =$	0.049mm	$S =$	0.148mm	
$t_p(50\%) =$	70.40 %	$t_p(50\%) =$	70.80 %	$t_p(50\%) =$	71.60 %	$t_p(50\%) =$	73.00 %	
t_p CURVE		t_p CURVE		t_p CURVE		t_p CURVE		
PROFIL		PROFIL		PROFIL		PROFIL		
HQR:	0.8mm(10)	HQR:	0.8mm(10)	HQR:	0.8mm(10)	HQR:	0.8mm(10)	
VER:	50μm(10)	VER:	50μm(10)	VER:	50μm(10)	VER:	50μm(10)	

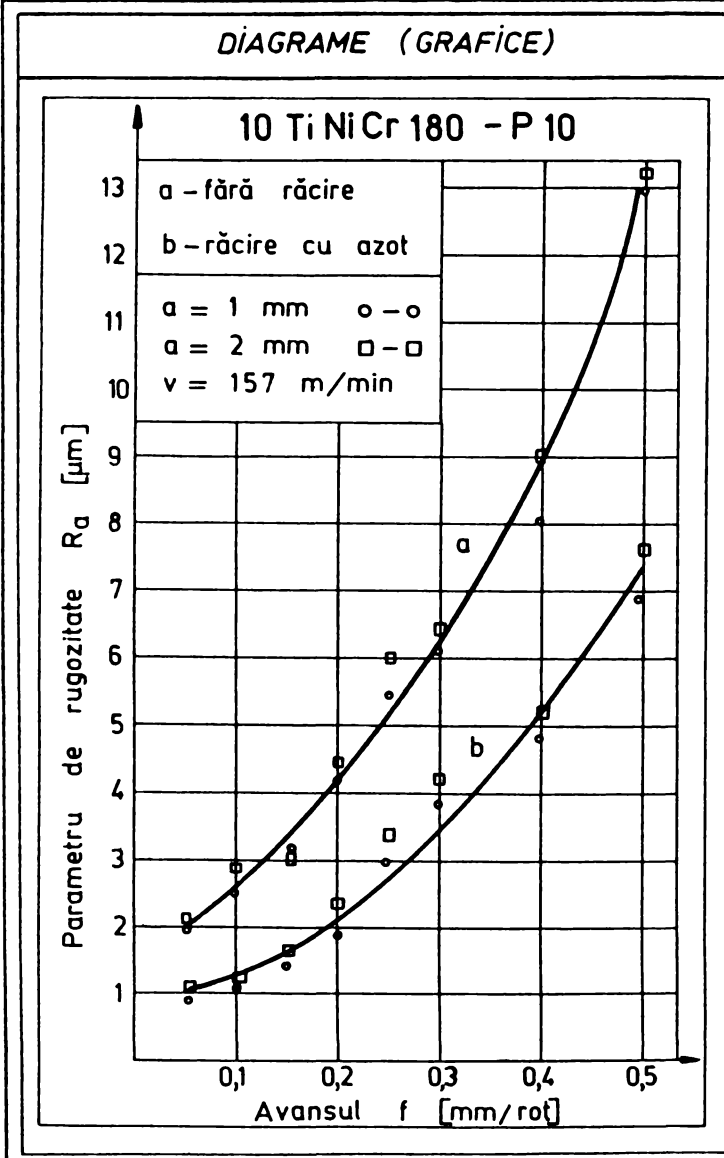
U.E.M. Reșita		OPSTRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-fără răcire		FISA DE REZULTATE NR: 28	
DATE: a f v NAME: 2.0 0.05 157	DATE: a f v NAME: 2.0 0.1 157	DATE: a f v NAME: 2.0 0.15 157	DATE: a f v NAME: 2.0 0.2 157	DATE: a f v NAME: 2.0 0.2 157	DATE: a f v NAME: 2.0 0.2 157
OUT OFF: 0.80mm	OUT OFF: 0.80mm	OUT OFF: 0.80mm	OUT OFF: 0.80mm	OUT OFF: 0.80mm	OUT OFF: 0.80mm
R _a = 2.090um	R _a = 2.56um	R _a = 2.174um	R _a = 4.781um	R _a = 4.781um	R _a = 4.781um
R _z = 12.07um	R _z = 12.06um	R _z = 14.07um	R _z = 13.04um	R _z = 13.04um	R _z = 13.04um
R _y = 16.06um	R _y = 17.01um	R _y = 20.05um	R _y = 24.05um	R _y = 24.05um	R _y = 24.05um
S _m = 0.051mm	S _m = 0.045mm	S _m = 0.061mm	S _m = 0.090mm	S _m = 0.090mm	S _m = 0.090mm
S _z = 0.013mm	S _z = 0.025mm	S _z = 0.038mm	S _z = 0.068mm	S _z = 0.068mm	S _z = 0.068mm
tp(50%)=13.80 %	tp(50%)=16.40 %	tp(50%)=17.60 %	tp(50%)=13.60 %	tp(50%)=13.60 %	tp(50%)=13.60 %
tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE
tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL
HOR: 0.8mm/DU	HOR: 0.8mm/DU	HOR: 0.8mm/DU	HOR: 0.8mm/DU	HOR: 0.8mm/DU	HOR: 0.8mm/DU
VER: 50um/DU	VER: 50um/DU	VER: 50um/DU	VER: 50um/DU	VER: 50um/DU	VER: 50um/DU

U.E.M. Reșița		OPSTRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-fără răcire				FIȘĂ DE REZULTATE NR: 29																									
<table border="1"> <tr><th>a</th><th>f</th><th>v</th></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.25</td><td>157</td></tr> </table>		a	f	v	2.0	0.25	157	<table border="1"> <tr><th>a</th><th>f</th><th>v</th></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.3</td><td>157</td></tr> </table>		a	f	v	2.0	0.3	157	<table border="1"> <tr><th>a</th><th>f</th><th>v</th></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.4</td><td>157</td></tr> </table>		a	f	v	2.0	0.4	157	<table border="1"> <tr><th>a</th><th>f</th><th>v</th></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.5</td><td>157</td></tr> </table>		a	f	v	2.0	0.5	157
a	f	v																													
2.0	0.25	157																													
a	f	v																													
2.0	0.3	157																													
a	f	v																													
2.0	0.4	157																													
a	f	v																													
2.0	0.5	157																													
Profil: 0.00mm $P_{10} = 0.055 \mu m$ $P_{20} = \dots \mu m$ $P_{30} = 29.04 \mu m$ $S_{10} = 0.101 mm$ $S_{20} = 0.154 mm$ $t_{p 50\%} = 12.00 \mu s$		Profil: 0.00mm $P_{10} = 0.071 \mu m$ $P_{20} = \dots \mu m$ $P_{30} = 14.01 \mu m$ $S_{10} = 0.210 mm$ $S_{20} = 0.308 mm$ $t_{p 50\%} = 12.80 \mu s$		Profil: 0.00mm $P_{10} = 0.07 \mu m$ $P_{20} = \dots \mu m$ $P_{30} = 50.00 \mu m$ $S_{10} = 0.180 mm$ $S_{20} = 0.210 mm$ $t_{p 50\%} = 12.00 \mu s$		Profil: 0.00mm $P_{10} = 0.100 \mu m$ $P_{20} = \dots \mu m$ $P_{30} = 7.07 \mu m$ $S_{10} = 0.218 mm$ $S_{20} = 0.258 mm$ $t_{p 50\%} = 12.40 \mu s$																									
te curent tp 100% 		te curent tp 100% 		te curent tp 100% 		te curent tp 100% 																									
PROFIL HORIZ: 0.00mm (0) VERT: 50.00mm (0)		PROFIL HORIZ: 0.00mm (0) VERT: 50.00mm (0)		PROFIL HORIZ: 0.00mm (0) VERT: 50.00mm (0)		PROFIL HORIZ: 0.00mm (0) VERT: 50.00mm (0)																									
																															

U.E.M. Reșița		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-răcire cu azot				FISA DE REZULTATE NR: 30	
DATE: a f v 2.0 0.05 157 NAME:	DATE: a f v 2.0 0.1 157 NAME:	DATE: a f v 2.0 0.15 157 NAME:	DATE: a f v 2.0 0.2 157 NAME:				
CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm				
$R_a = 1.082\mu m$	$R_a = 1.191\mu m$	$R_a = 1.749\mu m$	$R_a = 2.498\mu m$				
$R_z = 6.290\mu m$	$R_z = 5.670\mu m$	$R_z = 15.01\mu m$	$R_z = \dots\mu m$				
$R_y = 3.431\mu m$	$R_y = 3.235\mu m$	$R_y = 10.03\mu m$	$R_y = 13.01\mu m$				
$S_m = 0.083mm$	$S_m = 0.062mm$	$S_m = 0.098mm$	$S_m = 0.120mm$				
$S = 0.034mm$	$S = 0.043mm$	$S = 0.088mm$	$S = 0.164mm$				
$tp(50\%) = 7.60\%$	$tp(50\%) = 3.20\%$	$tp(50\%) = 43.20\%$	$tp(50\%) = 34.40\%$				
tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE				
tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)				
							
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL				
HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV				
VER: 20μm/DIV	VER: 20μm/DIV	VER: 20μm/DIV	VER: 20μm/DIV				
							

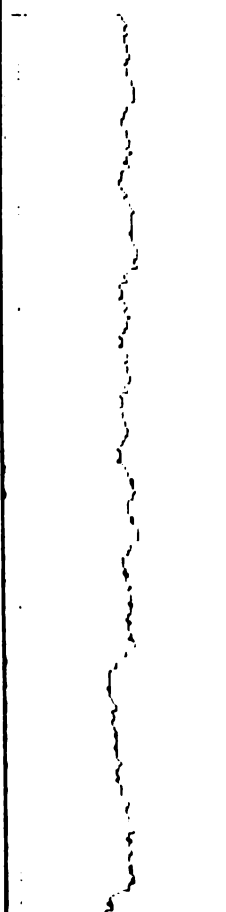
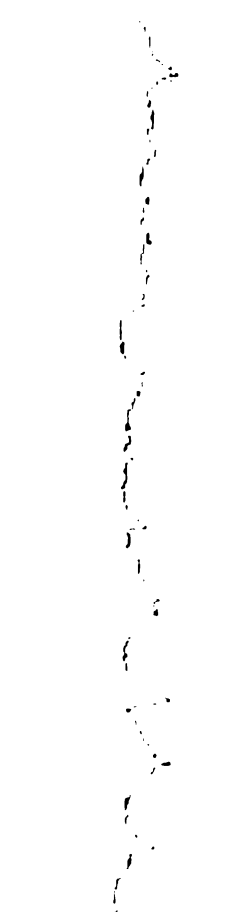
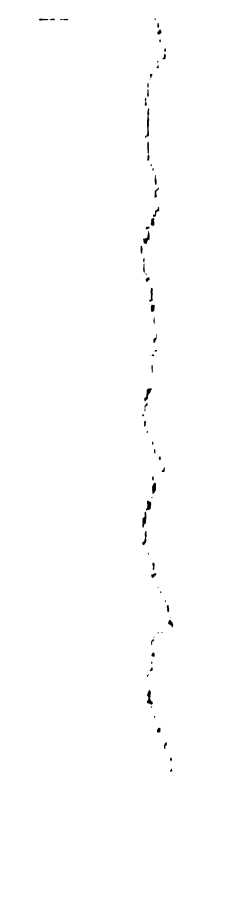
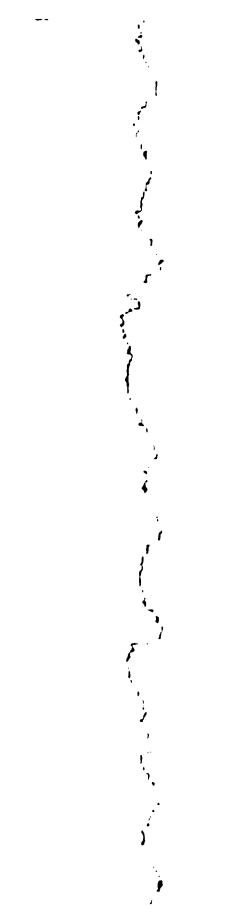
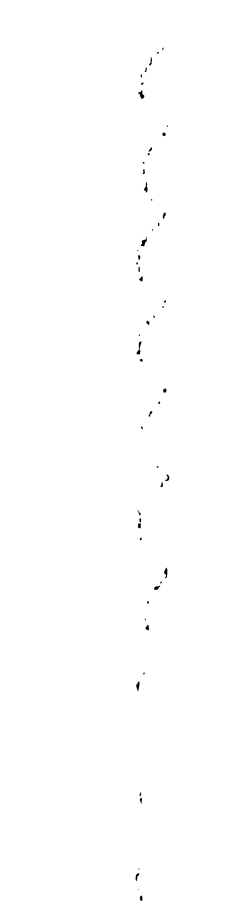
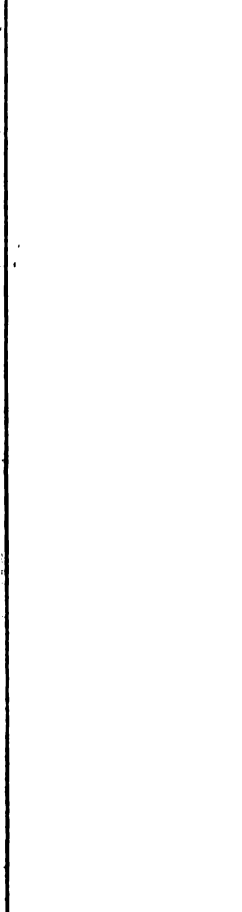
U.E.M. Reșița		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-răcire cu azot		FISA DE REZULTATE NR: 31																											
<table border="1"> <tr><th>a</th><th>f</th><th>v</th></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.25</td><td>157</td></tr> </table>		a	f	v	2.0	0.25	157	<table border="1"> <tr><th>a</th><th>f</th><th>v</th></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.3</td><td>157</td></tr> </table>		a	f	v	2.0	0.3	157	<table border="1"> <tr><th>a</th><th>f</th><th>v</th></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.4</td><td>157</td></tr> </table>		a	f	v	2.0	0.4	157	<table border="1"> <tr><th>a</th><th>f</th><th>v</th></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.5</td><td>157</td></tr> </table>		a	f	v	2.0	0.5	157
a	f	v																													
2.0	0.25	157																													
a	f	v																													
2.0	0.3	157																													
a	f	v																													
2.0	0.4	157																													
a	f	v																													
2.0	0.5	157																													
DATE NAME: CUT OFF: 0.80mm P ₁ = 1.240μm P ₂ =μm P ₃ = 31.03μm S _m = 0.030mm S _v = 0.025mm tp 50% = 14.40 %		DATE NAME: CUT OFF: 0.80mm P ₁ = 3.165μm P ₂ = 74.05μm P ₃ = 26.04μm S _m = 0.030mm S _v = 0.035mm tp 50% = 13.50 %		DATE NAME: CUT OFF: 0.80mm P ₁ = 10.50μm P ₂ = 41.00μm P ₃ = 21.04μm S _m = 0.100mm S _v = 0.050mm tp 50% = 14.00 %		DATE NAME: CUT OFF: 0.80mm P ₁ = 15.00μm P ₂ = 50.00μm P ₃ = 30.00μm S _m = 0.100mm S _v = 0.050mm tp 50% = 14.00 %																									
PROFIL HCF: 0.8mm (P) HCF: 50um (P)		PROFIL HCF: 0.8mm (P) HCF: 50um (P)		PROFIL HCF: 0.8mm (P) HCF: 50um (P)		PROFIL HCF: 0.8mm (P) HCF: 50um (P)																									

U.E.M. Resița		OPERAȚIA : STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10				FISA DE REZULTATE NR : 32	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5$ kw	Material P 10	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr 180	Dimensiuni $\phi 50 \times 10 / 8$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber / matrită)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\gamma = 12^\circ$	$K_F = 90^\circ$	$\lambda_T = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut / precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere ; $a = 1$ mm				1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire	
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru ; $f = \text{variabil}$ mm/rot				2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)	
3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere ; $v = 157$ m/min				3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei	
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru ; $n = 1000$ rot/min				4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)	



TABEL DE REZULTATE

Variabila de decizie	Funcția obiectiv			
Den. <u>AVANS</u>	Denumire: <u>RUGOZITATE</u>			
Simb. <u>f</u>	Simbol: <u>Ra</u>			
Unit. <u>mm/rot</u>	Unitate: <u>μm</u>			
Nr. det.	Criteriu	Valoarea		
		uscat	azot	calculată
1	0,05	2,016	0,852	
2	0,10	2,467	1,172	
3	0,15	3,253	1,409	
4	0,20	4,217	1,874	
5	0,25	5,559	3,143	
6	0,30	6,299	3,929	
7	0,40	8,021	4,745	
8	0,50	13,050	6,813	
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-

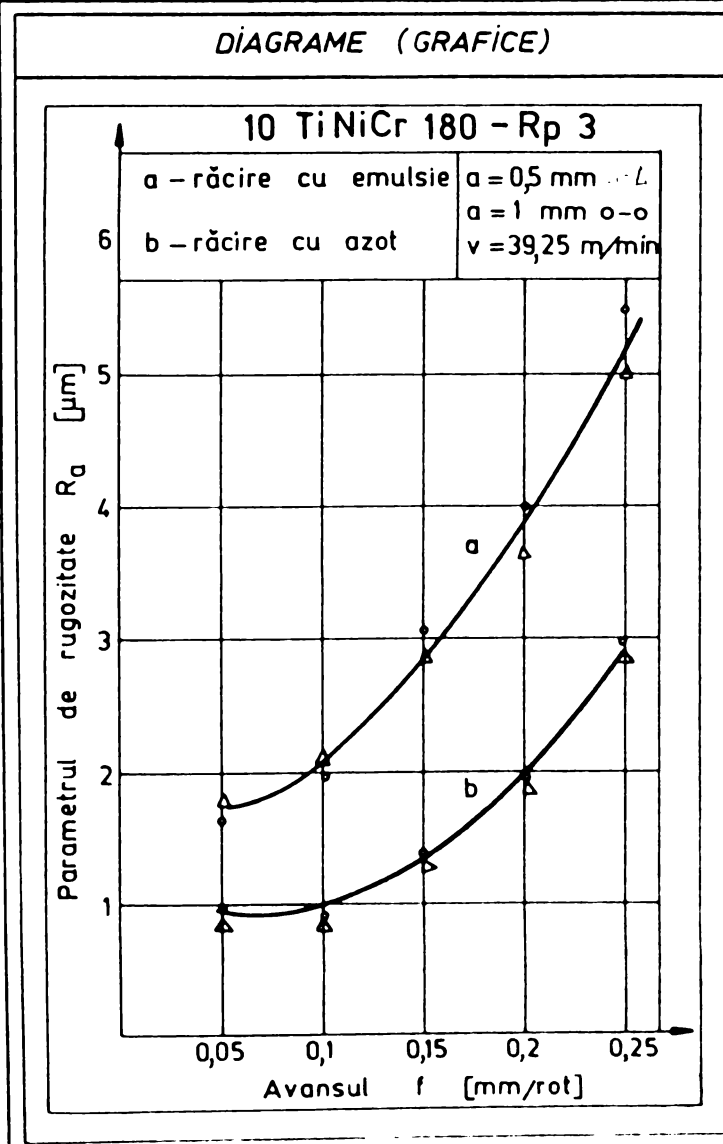
U.E.M. Reșița		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3-răcire cu emulsie				FIȘĂ DE REZULTATE NR: 33	
DATE: a f v NAME: 0.5 0.25 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.1 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.15 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.2 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.25 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.25 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.25 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.25 39.25
CUT OFF: 0.80mm R _a = 1.804μm R _z = 4.690μm R _y = 3.823μm S _m = 0.082mm S = 0.045mm tp(50%)=42.80 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 2.140μm R _z =μm R _y = 12.05μm S _m = 0.105mm S = 0.094mm tp(50%)=41.00 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 2.934μm R _z = 12.00μm R _y = 17.01μm S _m = 0.048mm S = 0.032mm tp(50%)=41.80 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 7.571μm R _z = 26.03μm R _y = 22.05μm S _m = 0.084mm S = 0.053mm tp(50%)=41.20 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 1.740μm R _z = 21.08μm R _y = 21.00μm S _m = 0.185mm S = 0.081mm tp(50%)=40 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 1.740μm R _z = 21.08μm R _y = 21.00μm S _m = 0.185mm S = 0.081mm tp(50%)=40 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 1.740μm R _z = 21.08μm R _y = 21.00μm S _m = 0.185mm S = 0.081mm tp(50%)=40 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 1.740μm R _z = 21.08μm R _y = 21.00μm S _m = 0.185mm S = 0.081mm tp(50%)=40 %
tp CURVE tp(100%) 0% C(100%)	tp CURVE tp(100%) 0% C(100%)	tp CURVE tp(100%) 0% C(100%)	tp CURVE tp(100%) 0% C(100%)	tp CURVE tp(100%) 0% C(100%)	tp CURVE tp(100%) 0% C(100%)	tp CURVE tp(100%) 0% C(100%)	tp CURVE tp(100%) 0% C(100%)
PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 20μm/100	PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 20μm/100	PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50μm/100	PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50μm/100	PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50μm/100	PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50μm/100	PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50μm/100	PROFIL HOR: 0.8mm/100 VER: 50μm/100
							

U.E.M. Reșița			OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3-răcire cu azot			FIȘA DE REZULTATE NR: 34		
DATE: a f v NAME: 0.5 0.15 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.1 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.15 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.2 39.25	DATE: a f v NAME: 0.5 0.25 39.25				
CUT OFF: 0.80mm P _{av} = 0.925μm P _z = 3.170μm P _y = 5.886μm S _m = 0.101mm S _z = 0.083mm tp(50%)=17.20 %	CUT OFF: 0.80mm R _a = 0.976μm R _z = 4.208μm R _y = 6.961μm S _m = 0.077mm S _z = 0.055mm tp(50%)=1.20 %	CUT OFF: 0.80mm P _{av} = 1.170μm P _z = 3.709μm P _y = 13.04μm S _m = 0.095mm S _z = 0.041mm tp(50%)=1.00 %	CUT OFF: 0.80mm P _{av} = 1.812μm P _z = 5.380μm P _y = 15.00μm S _m = 0.095mm S _z = 0.057mm tp(50%)=45.60 %	CUT OFF: 0.80mm P _{av} = 2.839μm P _z =μm P _y = 17.08μm S _m = 0.130mm S _z = 0.138mm tp(50%)=47.60 %				
tp CURVE tp(100%)	tp CURVE tp(100%)	tp CURVE tp(100%)	tp CURVE tp(100%)	tp CURVE tp(100%)				
PROFIL HOR: 0.8mm/DIV VER: 5μm/DIV	PROFIL HOR: 0.8mm/DIV VER: 5μm/DIV	PROFIL HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV	PROFIL HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV	PROFIL HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV				

U.E.M. Reșița		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3-răcire cu emulsie			FIȘĂ DE REZULTATE NR: 35	
DATE: a f v NAME: 1.0 0.05 39.25	DATE: a f v NAME: 1.0 0.1 39.25	DATE: a f v NAME: 1.0 0.15 39.25	DATE: a f v NAME: 1.0 0.2 39.25	DATE: a f v NAME: 1.0 0.25 39.25		
CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm		
R _a = 1.706μm	R _a = 2.053μm	R _a = 1.166μm	R _a = 4.185μm	R _a = 5.543μm		
R _z = ...μm	R _z = 10.00μm	R _z = 13.06μm	R _z = ...μm	R _z = ...μm		
R _y = 13.01μm	R _y = 20.09μm	R _y = 21.07μm	R _y = 22.03μm	R _y = 26.00μm		
S _m = 0.133mm	S _m = 0.077mm	S _m = 0.103mm	S _m = 0.138mm	S _m = 0.226mm		
S = 0.120mm	S = 0.078mm	S = 0.118mm	S = 0.205mm	S = 0.249mm		
tp(50%)=7.60 %	tp(50%)=16.40 %	tp(50%)=23.60 %	tp(50%)=28.40 %	tp(50%)=35.60 %		
tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE		
tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)		
0% C(100%)	0% C(100%)	0% C(100%)	0% C(100%)	0% C(100%)		
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL		
HOR: 0.8mm/DIU	HOR: 0.8mm/DIU	HOR: 0.8mm/DIU	HOR: 0.8mm/DIU	HOR: 0.8mm/DIU		
VER: 20μm/DIU	VER: 20μm/DIU	VER: 20μm/DIU	VER: 20μm/DIU	VER: 20μm/DIU		

U.E.M. Reșita			OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3-răcire cu azot			FISA DE REZULTATE		
NR: 36								
DATE: NAME: 1.0 0.05 30.25	DATE: NAME: 1.0 0.1 30.25	DATE: NAME: 1.0 0.15 30.25	DATE: NAME: 1.0 0.2 30.25	DATE: NAME: 1.0 0.25 30.25				
CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm				
$R_a = 0.326\mu m$	$R_a = 0.383\mu m$	$R_a = 1.302\mu m$	$R_a = 1.940\mu m$	$R_a = 2.893\mu m$				
$R_z = 5.065\mu m$	$R_z = 3.457\mu m$	$R_z = 9.756\mu m$	$R_z = 11.00\mu m$	$R_z = \dots\mu m$				
$R_y = 3.726\mu m$	$R_y = 6.471\mu m$	$R_y = 10.07\mu m$	$R_y = 11.09\mu m$	$R_y = 14.03\mu m$				
$S_m = 0.109mm$	$S_m = 0.101mm$	$S_m = 0.088mm$	$S_m = 0.109mm$	$S_m = 1.119mm$				
$S = 0.075mm$	$S = 0.088mm$	$S = 0.050mm$	$S = 0.043mm$	$S = 0.198mm$				
$tp(50\%) = 3.60\%$	$tp(50\%) = 3.40\%$	$tp(50\%) = 1.60\%$	$tp(50\%) = 3.60\%$	$tp(50\%) = 4.40\%$				
tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE				
tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)	tp(100%)				
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL				
HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV				
VER: 5um/DIV	VER: 5um/DIV	VER: 20um/DIV	VER: 20um/DIV	VER: 20um/DIV				

U.E.M. Reșița		OPSTRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3				FIȘA DE REZULTATE NR: 37	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu}=7,5$ kw	Material Rp 3	Durabilitate $T=15$ min	Dimensiuni $D(B \times H)=25 \times 25$	Nr. de dinți $Z=1$	Material 10TiNiCr 180	Dimensiuni $\phi 50 \times 10/5$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0=16$ mm	$s_0=4$ mm	$r_0=1$ mm	$z_0=1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ.+Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha=6^\circ$	$\beta=15^\circ$	$K_r=90^\circ$	$\lambda_r=0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ.+Luneță+V-ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere; $a=0,5$ și 1 mm				1. <input type="checkbox"/> Fără răcire	
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru; $f=variabil$ mm/rot				2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)	
3. <input checked="" type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere; $v=39,25$ m/min				3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei	
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru; $n=250$ rot/min				4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)	

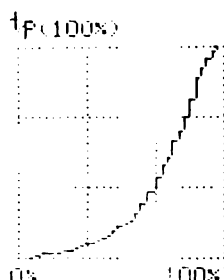
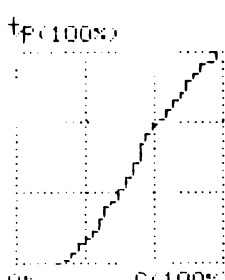
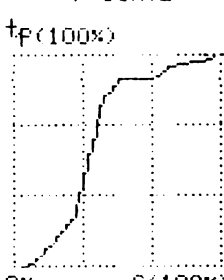
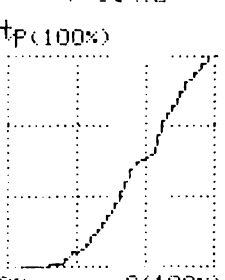
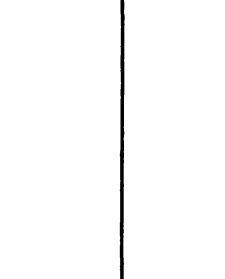

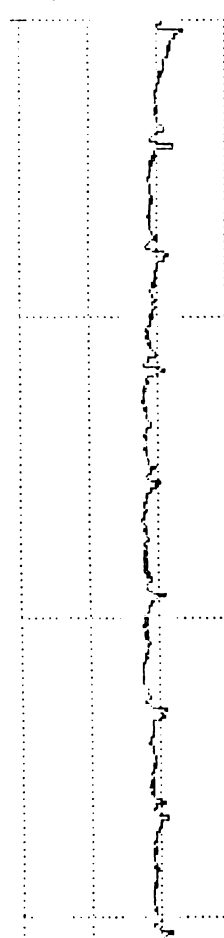
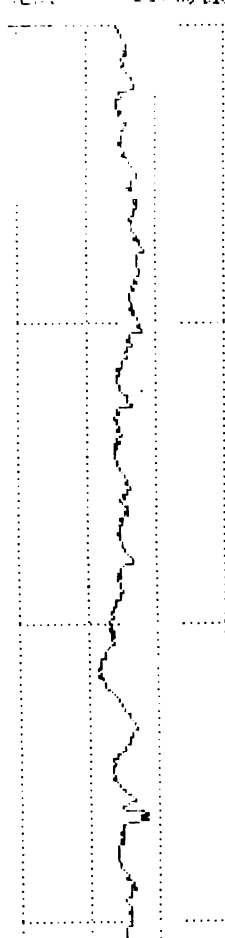
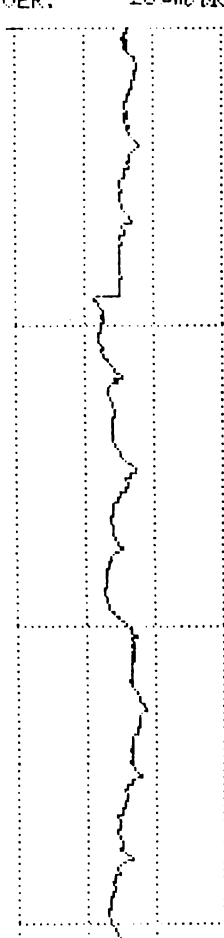
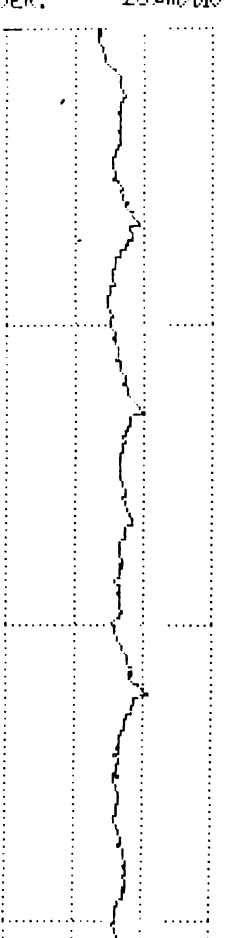
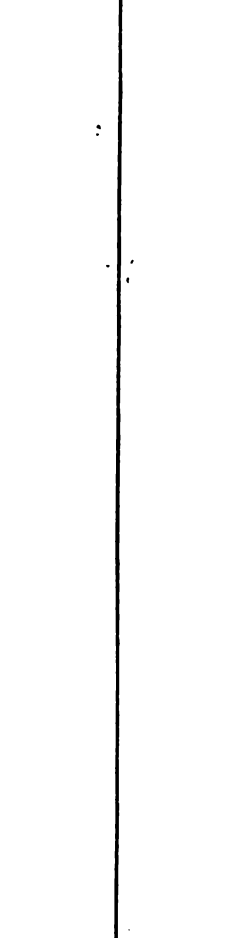



TABEL DE REZULTATE

Variabila de decizie	Funcția obiectiv			
Den. AVANS	Denumire: RUGOZITATE			
Simb. f	Simbol: R_a			
Unit. mm/rot	Unitate: μ m			
Nr. det.	Criteriu	Valoarea		
		0,5-1,0	emulsie	azot	calculată
1	0,05	1,804	0,825	
2	0,10	2,140	0,976	
3	0,15	2,834	1,317	
4	0,20	3,671	1,812	
5	0,25	4,943	2,893	
6	0,05	1,706	0,926	
7	0,10	2,053	0,983	
8	0,15	3,166	1,402	
9	0,20	4,185	1,940	
10	0,25	5,543	2,893	

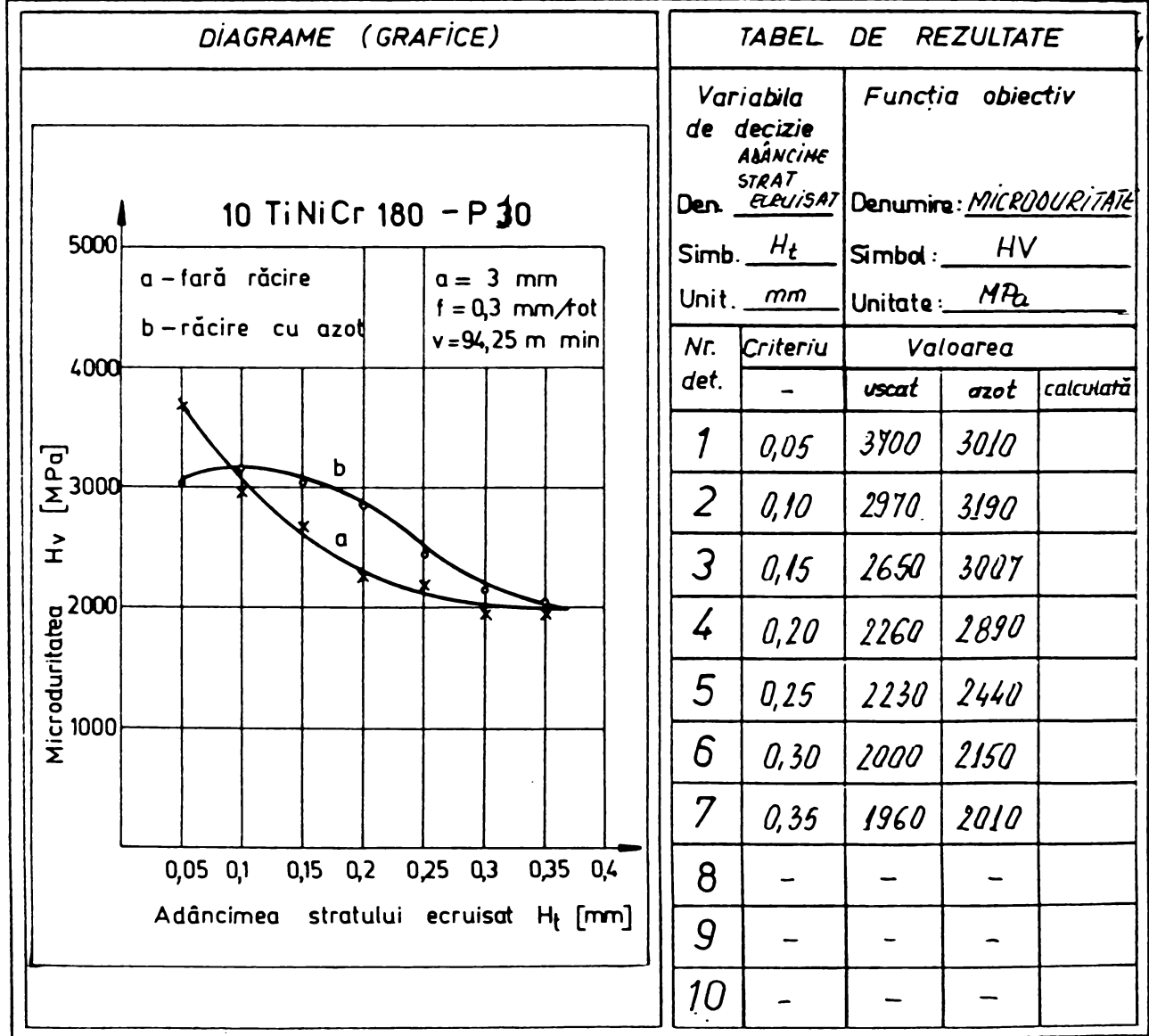
U.E.M. Reșița		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-fără răcire		FIȘĂ DE REZULTATE NR: 38	
DATE: NAME: 0.5 005 157	a f v	DATE: NAME: 0.5 0.1 157	a f v	DATE: NAME: 0.5 0.15 157	DATE: NAME: 0.5 0.2 157
CUT OFF: 0.80mm		CUT OFF: 0.80mm		CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm
$P_s = 2.227\mu m$		$P_s = 2.513\mu m$		$P_s = 3.648\mu m$	$P_s = 4.474\mu m$
$P_z = 11.04\mu m$		$P_z = 12.05\mu m$		$P_z = 15.02\mu m$	$P_z = 18.02\mu m$
$P_y = 14.07\mu m$		$P_y = 17.01\mu m$		$P_y = 18.06\mu m$	$P_y = 22.05\mu m$
$S_m = 0.056mm$		$S_m = 0.071mm$		$S_m = 0.098mm$	$S_m = 0.103mm$
$S = 0.025mm$		$S = 0.042mm$		$S = 0.048mm$	$S = 0.120mm$
$tp_{50\%} = 42.40\%$		$tp_{50\%} = 43.40\%$		$tp_{50\%} = 43.20\%$	$tp_{50\%} = 53.60\%$
TP CURVE		TP CURVE		TP CURVE	TP CURVE
$tp(100\%)$		$tp(100\%)$		$tp(100\%)$	$tp(100\%)$
PROFIL		PROFIL		PROFIL	PROFIL
HOR: 0.8mm/10V		HOR: 0.8mm/10V		HOR: 0.8mm/10V	HOR: 0.8mm/10V
VER: 50um/10V		VER: 50um/10V		VER: 50um/10V	VER: 50um/10V

U.E.M. Reșita			OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-fără răcire			FISA DE REZULTATE NR: 39		
DATE: NAME:	a f v 0.5 0.25 157	DATE: NAME:	a f v 0.5 0.3 157	DATE: NAME:	a f v 0.5 0.4 157	DATE: NAME:	a f v 0.5 0.5 157	
CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	
R _a =	3.940μm	R _a =	4.351μm	R _a =	3.267μm	R _a =	2.800μm	
R _z =	....μm	R _z =	....μm	R _z =	....μm	R _z =	11.07μm
R _v =	33.03μm	R _v =	31.03μm	R _v =	39.07μm	R _v =	....μm
S _m =	0.112mm	S _m =	0.141mm	S _m =	0.246mm	S _m =	00.07μm	
S _w =	0.133mm	S _w =	0.148mm	S _w =	0.249mm	S _w =	0.159mm	
tp(50%) =	13.60 %	tp(50%) =	0.20 %	tp(50%) =	28.80 %	tp(50%) =	1.60 %	
tp CURVE		tp CURVE		tp CURVE		tp CURVE		
tp(100%)		tp(100%)		tp(100%)		tp(100%)		
PROFIL		PROFIL		PROFIL		PROFIL		
HOR: 0.8mm(10)		HOR: 0.8mm(10)		HOR: 0.8mm(10)		HOR: 0.8mm(10)		
VER: 50μm(10)		VER: 50μm(10)		VER: 50μm(10)		VER: 50μm(10)		

U.E.M. Reșita		OP STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P10-răcire cu azot		FISA DE REZULTATE NR: 40	
DATE: a f v NAME: 0.5 0.05 157	DATE: a f v NAME: 0.5 0.1 157	DATE: a f v NAME: 0.5 0.15 157	DATE: a f v NAME: 0.5 0.2 157	DATE: a f v NAME: 0.5 0.15 157	DATE: a f v NAME: 0.5 0.2 157
CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm	CUT OFF: 0.80mm
$R_a = 1.017\mu m$	$R_a = 1.182\mu m$	$R_a = 1.695\mu m$	$R_a = 1.938\mu m$	$R_a = 1.695\mu m$	$R_a = 1.938\mu m$
$R_z = 5.364\mu m$	$R_z = 4.995\mu m$	$R_z = \dots\mu m$	$R_z = \dots\mu m$	$R_z = \dots\mu m$	$R_z = \dots\mu m$
$R_y = 7.450\mu m$	$R_y = 11.01\mu m$	$R_y = 17.00\mu m$	$R_y = 15.02\mu m$	$R_y = 17.00\mu m$	$R_y = 15.02\mu m$
$S_m = 0.057mm$	$S_m = 0.062mm$	$S_m = 0.096mm$	$S_m = 0.128mm$	$S_m = 0.096mm$	$S_m = 0.128mm$
$S = 0.028mm$	$S = 0.042mm$	$S = 0.093mm$	$S = 0.123mm$	$S = 0.093mm$	$S = 0.123mm$
$t_p(50\%) = 15.00\%$	$t_p(50\%) = 15.60\%$	$t_p(50\%) = 28.00\%$	$t_p(50\%) = 23.00\%$	$t_p(50\%) = 28.00\%$	$t_p(50\%) = 23.00\%$
tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE	tp CURVE
					
PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL	PROFIL
HOR: 0.5mm/DIV VER: 20μm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV	HOR: 0.8mm/DIV VER: 20μm/DIV
					

U.E.M. Reșița		OP STRUNJIRE cu PLĂCUTE P10-răcire cu azot				FIȘĂ DE REZULTATE NR: 41			
DATE:	a f v	DATE:	a f v	DATE:	a f v	DATE:	a f v		
NAME:	0.5 0.25 157	NAME:	0.5 0.3 157	NAME:	0.5 0.4 157	NAME:	0.5 0.5 157		
CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm	CUT OFF:	0.80mm		
$P_a =$	2.571 μ m	$P_a =$	3.027 μ m	$P_a =$	3.720 μ m	$P_a =$	4.348 μ m		
$R_z =$	10.00 μ m	$R_z =$	13.00 μ m	$R_z =$	13.01 μ m	$R_z =$	13.08 μ m		
$P_y =$	21.00 μ m	$P_y =$	25.04 μ m	$P_y =$	21.05 μ m	$P_y =$	25.00 μ m		
$S_m =$	0.058mm	$S_m =$	0.044mm	$S_m =$	....mm	$S_m =$	....mm
$S =$	0.028mm	$S =$	0.029mm	$S =$	0.023mm	$S =$	0.039mm		
$tp(50\%) =$	13.20 %	$tp(50\%) =$	11.60 %	$tp(50\%) =$	13.20 %	$tp(50\%) =$	13.60 %		
tp CURVE		tp CURVE		tp CURVE		tp CURVE			
PROFIL		PROFIL		PROFIL		PROFIL			
HOR: 0.8mm/10V		HOR: 0.8mm/10V		HOR: 0.8mm/10V		HOR: 0.8mm/10V			
VER: 50 μ m/10V		VER: 50 μ m/10V		VER: 50 μ m/10V		VER: 50 μ m/10V			

U.E.M. Reșita		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE P30				FIȘA DE REZULTATE NR.: 42	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mV} = 7,5 \text{ kW}$	Material P 30	Durabilitate $T = 15 \text{ min}$	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 10 / 2$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16 \text{ mm}$	$s_0 = 4 \text{ mm}$	$r_0 = 1 \text{ mm}$	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\gamma = 12^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_T = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degrosare		1. Adâncimea de așchiere;		$a = 3 \text{ mm}$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire		
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru;		$f = 0,3 \text{ mm/rot}$	2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)		
3. <input type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere;		$v = 94,25 \text{ m/min}$	3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei		
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru;		$n = 600 \text{ rot/min}$	4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)		



U.E.M. Reșita		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3				FIȘA DE REZULTATE NR: 43	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7.5$ kw	Material Rp 3	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 10/3$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrici (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV		$\alpha = 6^\circ$	$\gamma = 15^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_r = 0^\circ$	3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV						4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere; $a = 3$ mm		2. Avansul de lucru; $f = 0.3$ mm/rot		1. <input type="checkbox"/> Fără răcire	
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		3. Viteza de așchiere; $v = 31.4$ m/min		4. Turația de lucru; $n = 200$ rot/min		2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)	
3. <input type="checkbox"/> Finisare						3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei	
4. <input type="checkbox"/> Netezire						4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot)	

DIAGrame (GRAFICE)		TABEL DE REZULTATE			
<p style="text-align: center;">10 TiNiCr 180 - Rp 3</p> <p>a - fără răcire b - răcire cu emulsie c - răcire cu azot</p> <p>a = 3 mm f = 0,3 mm/rot v = 314 m/min</p> <p style="text-align: center;">Microduritatea H_v [MPa]</p> <p style="text-align: center;">Adâncimea stratului ecruiat H_t [mm]</p>		<p>Variabila de decizie ADÂNCIME STRAT ECRUISAT</p> <p>Den. <u>ECRUISAT</u> Denumire: <u>MICRODURITATE</u></p> <p>Simb. <u>H_t</u> Simbol: <u>HV</u></p> <p>Unit. <u>mm</u> Unitate: <u>MPa</u></p>			
Nr. det.	Criteriu	Valoarea			
		-	emulsie	azot	uscat
1	0,05	2865	2660	3624	
2	0,10	2530	2850	3026	
3	0,15	2440	2938	2617	
4	0,20	2150	2720	2486	
5	0,25	2050	2470	2120	
6	0,30	1980	2120	2060	
7	0,35	1975	1976	1975	
8					
9					
10					

3.4.3. Interpretarea rezultatelor

Din analiza curbelor de variație ale rugozității suprafeței prelucrate și ale microdurității stratului superficial, se poate constata:

1. La strunjirea cu plăcuțe din **carburi metalice P10**, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, rugozitatea suprafeței se îmbunătățește cu cel puțin **o clasă de netezime**, de la $R_a = 3,4 \mu\text{m}$, la $R_a = 1,2 \mu\text{m}$.

2. La strunjirea cu plăcuțe din **oțel rapid Rp3**, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, rugozitatea suprafeței se îmbunătățește cu **două clase de netezime**, de la $R_a = 3,1 \mu\text{m}$, la $R_a = 0,6 \mu\text{m}$.

3. Rugozitatea suprafeței este influențată de **avans** - după o **funcție putere**, iar de **viteză** - după o **funcție polinomială** de gradul doi.

4. Parametrul de rugozitate **Ra** atinge un **maxim** în zona vitezelor critice 20...30 m/min., de existență a depunerilor pe tăiș, și **scade continuu** până la viteza $v=200$ m/min., după care creșterea de viteză nu mai produce o îmbunătățire evidentă a netezimii suprafeței.

5. La strunjirea în condiții de răcire criogenică cu **azot lichid**, variația lui **Ra** - în funcție de viteză, este mai **lină**, iar **maximul este deplasat spre dreapta**, de la viteze de 20...25 m/min., la viteze de 25...30 m/min.

6. La ambele tipuri de plăcuțe se observă că rugozitatea scade **exponențial**, cu micșorarea **avansului**, până la $f=0,1$ mm/rot, însă pentru valori mai mici, calitatea suprafeței se înrăutățește.

7. Influența **adâncimii de aşchiere** la regimuri de finisare ($0,5 < a < 3$) și în condiții de răcire criogenică este **nesemnificativă**, însă - atât pentru $a > 3$ mm, cât și pentru $a < 0,5$ mm - s-a constatat o creștere însemnată a rugozității.

8. Înrăutățirea netezimii suprafeței - **la avansuri și adâncimi mici** - este mai **accentuată** în cazul răcirii criogenice cu azot lichid decât la strunjirea fără răcire sau cu răcire cu emulsie, aspect confirmat și de [22], [44], [71].

9. Din variația **microdurității** pe adâncimea stratului superficial, se evidențiază o **creștere** mai mare a durității oțelului 10 TiNiCr 180, în cazul folosirii azotului lichid, dar **grosimea totală a stratului ecrusat rămâne constantă**, indiferent de condițiile de răcire.

10. Calculul rugozității teoretice R_t la răcirea criogenică cu azot lichid, se poate face cu aceeași relație (3.7) de la strunjirea normală, însă se va aplica un coeficient de îmbunătățire a netezimii suprafeței. Știind că saltul de la o clasă la alta a parametrilor de rugozitate se face prin înjumătățire, coeficienții de corecție vor fi:

- 1/4 - la strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid, când saltul este de două clase de netezime;
- 1/2 - la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice, când saltul este de o singură clasă de netezime.

Relațiile de calcul ale rugozității, în cazul strunjirii în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, vor fi:

- pentru strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice:

$$R_t = \frac{f^2}{16 \cdot r_0} \cdot 1.000 \text{ } [\mu\text{m}] ; \quad (3.8)$$

- pentru strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid:

$$R_t = \frac{f^2}{32 \cdot r_0} \cdot 1.000 \text{ } [\mu\text{m}] . \quad (3.9)$$

Aceste aspecte manifestate la strunjirea criogenică, comparativ cu strunjirea clasică - la același regim de finisare - duc la o îmbunătățire evidentă a calității suprafeței prelucrate, obținându-se chiar valori de rugozitate specifice procedeelor de netezire (rectificare și vibronetezire). Ele se justifică prin aceea că azotul lichid limitează fenomenul de frecare dintre așchie și fața de degajare a cuțitului și, de asemenea, fenomenul de formare a depunerilor pe tăiș.

Variația microdunității pe o adâncime constantă a stratului ecruizat se explică prin faptul că mediul criogenic nu influențează cantitatea de căldură produsă prin așchiere, ci doar felul transmiterii ei.

Trebuie avute însă în vedere valorile minime ale parametrilor regimului de strunjire criogenică ($a > 0,5 \text{ mm}$ și $f > 0,1 \text{ mm/rot}$), sub care - la un grad de răcire maxim admis (25%) - ar apărea fenomenele de „gripare” prin tasare și de fragilizare puternică a materialului prin răcire.

3.5. Influența răcirii criogenice cu azot lichid asupra uzurii și durabilității plăcuțelor așchietoare

3.5.1. Considerații teoretice

Prelucrarea mecanică prin așchiere, din punct de vedere economic, nu se poate efectua la viteze de așchiere prea mari, dar nici la viteze prea mici. Primul caz necesită dese schimbări ale plăcuțelor așchietoare (durabilitate mică), iar cel de-al doilea caz asigură o capacitate de producție scăzută. Există deci o viteză optimă de așchiere și o anumită durabilitate a plăcuțelor, care corespund fiecărui cuplu piesă-sculă, în anumite condiții de strunjire.

Dependența durabilitate funcție de viteza de așchiere este dată de relația lui Taylor, stabilită experimental:

$$v_c \cdot T^m = ct. , \quad (3.10)$$

în care: v_c - viteza de așchiere [m/min.];
 T - durabilitatea sculei [min.];
 m - exponent de influență, în funcție de uzura sculei.

Această ecuație, acceptată aproape în unanimitate, este aplicabilă [1], [24], [28] în cazul în care temperatura de așchiere este constantă. Din experiențele efectuate de către unii autori [69], s-a constatat că la prelucrarea oțelurilor inoxidabile austenitice (grupa 18-8) există o dependență directă între durabilitate și temperatura de așchiere, dată de influența acestora din urmă asupra intensității fenomenului de uzare a sculei.

Intensitatea uzării, conform [31], [35], [85], [99] este dată de relația

$$VR = \frac{VB}{v_c T} = \frac{1.000 VB}{L_c} [\mu m/m] , \quad (3.11)$$

în care: VB - lățimea uzurii pe fața de așezare [mm];
 L_c - lungimea așchiată [m].

Pentru strunjire, lungimea așchiată se calculează cu relația

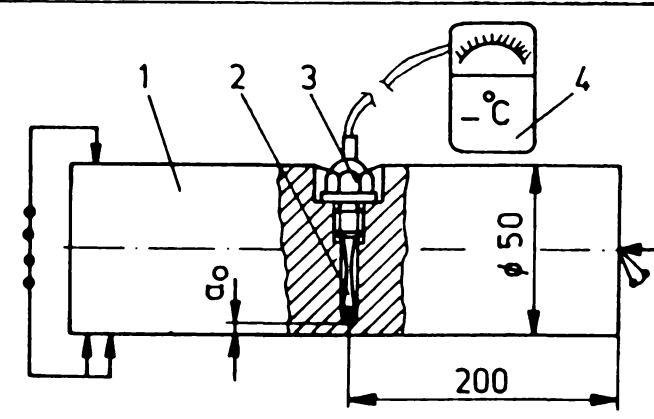
$$L_c = \frac{\pi D l_c}{1.000 \cdot f} [m] , \quad (3.12)$$

în care: D - diametrul inițial al piesei de prelucrat [mm];
 l_c - lungimea piesei de prelucrat [mm];
 f - avansul [mm/rot.].

În lucrarea [1] se arată că la prelucrarea oțelurilor inoxidabile austenitice cu viteză mică de așchiere și avans mare trebuie să se ia drept criteriu de uzare lățimea uzurii pe fața de așezare (VB), iar în cazul strunjirii cu viteză mare și avans mic se recomandă adâncimea uzurii (craterul) pe fața de degajare (KT).

Notația ISO (STAS 12.046/1-81) a parametrilor de uzare a sculei este dată în tabelul 3.18.

Tabelul 3.18

Măsurarea temperaturii	Parametrii de uzare
	<p>VB - lățimea uzurii pe fața de așezare. KT - adâncimea uzurii (craterului) pe fața de degajare. KB - lățimea uzurii (craterului) pe fața de degajare. VR - intensitatea uzării.</p>

Factorii principali de influență asupra durabilității sunt deci:

1. materialele cuplului piesă-sculă;
2. parametrii regimului de așchiere, dintre care viteza de așchiere are influența cea mai pronunțată (în raport cu avansul și adâncimea de așchiere);
3. intensitatea uzării plăcuțelor;
4. mediul de răcire.

Răcirea criogenică cu azot lichid pune în evidență dependența nemijlocită dintre durabilitatea plăcuțelor și temperatura de așchiere, corelația directă între intensitatea uzării plăcuțelor și durabilitatea lor, precum și faptul că relația lui Taylor se verifică în practică pentru vitezele efective de lucru ale fiecărui tip de plăcuțe (P30 și Rp3) [15], [22].

3.5.2. Fișe de rezultate

Considerând drept criteriu de analiză lățimea uzurii pe fața de așezare - $VB=0,3$ mm - s-au efectuat încercări de durabilitate a plăcuțelor așchietoare, la strunjirea în condiții de răcire criogenică, comparativ cu strunjirea normală (fără răcire sau răcire cu emulsie). Măsurarea lățimii uzurii pe fața de așezare și a temperaturii de așchiere s-au efectuat cu microscopul universal cu reglaj micrometric, și respectiv cu termofilul cu tijă mobilă de palpare, aparate prezentate în § 2.3.

În timpul prelucrării prin strunjire a oțelului inoxidabil austenitic 10 TiNiCr 180, pentru fiecare tip de plăcuță (P30 sau Rp3) și fiecare regim de lucru (fără răcire și răcire cu azot), s-au efectuat cel puțin [7] cinci determinări experimentale.

Pe baza perechilor de valori viteză-durabilitate ($v_c - T$) rezultate, s-au determinat valorile intensității uzării plăcuțelor (VR), avându-se în vedere că uzarea în faza inițială (de rodaj) a plăcuțelor la prelucrarea acestui oțel este foarte mică [1], [24], [29], [76].

O parte din rezultatele experimentale sunt trecute în tabelele 3.19 și 3.20, pentru dependența durabilitate-viteză, respectiv tabelele 3.21 și 3.22 pentru dependența durabilitate-avans.

10 TiNiCr 180 - P30 - fără răcire

Tabelul 3.19

Viteza de așchi- ere	n [rot./ min.]							
	100	160	250	320	500	600	800	1.000
	v [m/ min.]							
	15,70	25,15	39,25	50,25	78,50	94,25	125,7	157,0
θ_c [°C]	250	400	540	600	700	780	830	910
T [min]	52	32	25	30	42	42	33	8
VR [$\mu\text{m}/\text{m}$]	0,36	0,37	0,30	0,20	0,10	0,07	0,08	0,24

În final, s-a urmărit - la mersul în gol al mașinii (fără așchiere) - variația temperaturii piesei răcite, pentru diferite adâncimi (a_0) față de suprafața piese - la care a fost plasată,

Rp3 - 10 TiNiCr 180 - P30 - răcire cu azot

Tabelul 3.20

Viteza de așchi- ere	n [rot./ min.]							
	100	160	250	320	500	600	800	1.000
	v [m/ min.]							
	15,70	25,15	39,25	50,25	78,50	94,25	125,7	157,0
θ_c [°C]	120	210	330	450	500	570	660	740
T [min.] - P30	-	-	-	(64)	76	62	45	20
T [min.] - Rp3	48	31	15	(10)	-	-	-	-

10 TiNiCr 180 - P30 - fără răcire

Tabelul 3.21

Avansul de lucru	a/f							
	30		15		10		8	6
	f [mm/ rot.]							
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
θ_c [°C]	680	715	740	760	780	800	840	890
T [min]	38	38	42	42	43	43	38	25
VR [$\mu\text{m}/\text{m}$]	0,15	0,12	0,10	0,07	0,06	0,05	0,12	0,20

succesiv, tija palpatoare a termofilului, precum și efectul de răcire al azotului, pentru diferite diametre (d_a) ale diuzei.

Modul concret de amplasare al termocuplei 2 aparatului de măsură 4, la diferite adâncimi față de suprafața piesei 1, este prezentat în schema din tabelul 3.18. Adaptorul 3 a fost conceput de firma producătoare astfel încât să se asigure atât fixarea tijei palpatoare, cât și strângerea acesteia, pentru un contact intim cu suprafața piesei.

Răcindu-se succesiv piesele-probă - de diametrul ϕ 50x400 - cu diferite viteze de

Rp3 -10 TiNiCr 180 - P30 - răcire cu azot

Tabelul 3.22

Avansul de lucru	a/f							
	30		15		10		8	6
	f [mm/ rot.]							
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50
θ_c [°C]	450	500	500	550	600	600	640	730
T [min] - P30	38	38	40	40	43	44	45	35
T [min] - Rp3	45	44	44	43	43	40	32	18

avans (v_f) și la diferite presiuni de lucru (p_a), s-a putut stabili cu o suficient de mare precizie evoluția temperaturii piesei la diferite adâncimi și diametre ale diuzei de pulverizare. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelele 3.23 și 3.24.

Tabelul 3.23

10 TiNiCr 180

Adâncimea a_0 [mm]	Temperatura piesei θ_p [°C]				
	Înainte de răcire	după răcire			
		Viteza de avans v_f [mm/min.]			
		50	100	250	
0,5	24	-145	-140	-125	
1,0	32	-95	-100	-110	
2,0	36	-80	-70	-65	
3,0	20	-55	-55	-40	
4,0	24	-40	-35	-25	
5,0	17	-35	-30	-15	

10 TiNiCr 180

Tabelul 3.24

Diametrul diuzei d_a [mm]	Temperatura piesei θ_p [°C]			
	Înainte de răcire	după răcire		
		Presiunea de lucru p_a [MPa]		
		0,125	0,200	0,350
1,0	20	0	-20	-30
1,5	24	-30	-50	-45
2,0	24	-50	-65	-70
3,0	30	-85	-95	-100
4,0	22	-110	-110	-105
5,0	24	-110	-115	-115

Fișele de rezultate nr. 44...50 prezintă următoarele dependențe (variații):

- fișa de rezultate nr. 44 - variația uzurii VB în funcție de tipul de prelucrare și de modul de răcire, la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice P30;

- fișa de rezultate nr. 45 - variația uzurii VB în funcție de tipul de prelucrare și de modul de răcire, la strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid Rp3;

- fișa de rezultate nr. 46 - dependența durabilitate-viteză de așchiere, la strunjirea criogenică, comparativ cu strunjirea obișnuită;

- fișa de rezultate nr. 47 - dependența durabilitate-avans de așchiere, la strunjirea criogenică, comparativ cu strunjirea obișnuită;

- fișa de rezultate nr. 48 - dependența durabilitate-viteză de așchiere, la strunjirea criogenică, comparativ cu strunjirea obișnuită, în scară logaritmică;

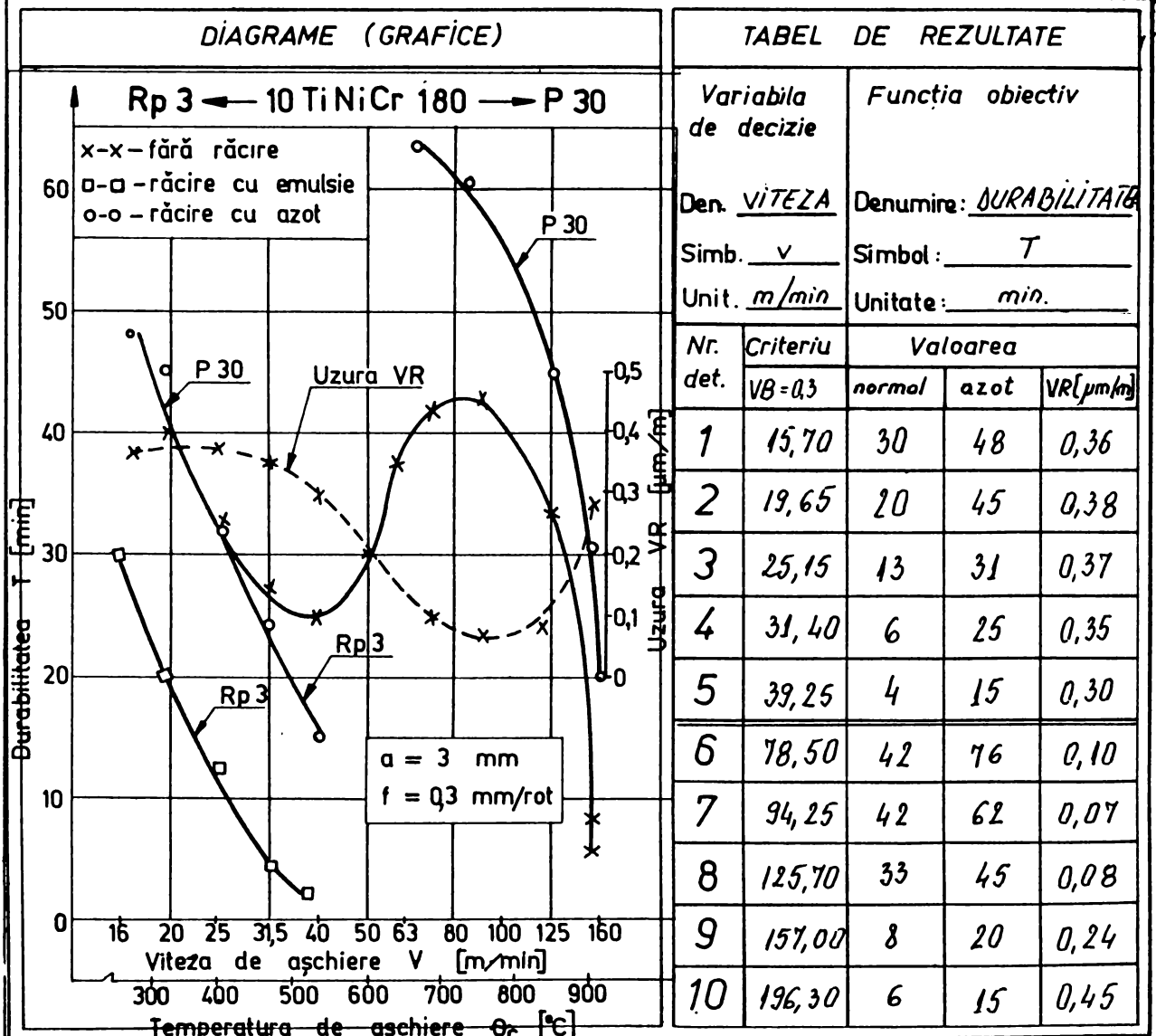
- fișa de rezultate nr. 49 - variația temperaturii piesei, în funcție de adâncimea de plasare a termocuplei, la răcirea criogenică cu azot lichid;

- fișa de rezultate nr. 50 - variația temperaturii piesei, în funcție de diametrul diuzei de pulverizarea, la răcirea criogenică cu azot lichid.

U.E.M. Reșița		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3				FIȘA DE REZULTATE NR: 45	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5$ kv	Material Rp 3	Durabilitate $T = 15$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = 25 \times 25$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr 180	Dimensiuni $\phi 50 \times 1000$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rececald)	
2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV		Parametrii geometrice (Unghiuri)				2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matrită)	
3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV						3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis)	
4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV		$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 15^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_r = 0^\circ$	4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare		1. Adâncimea de așchiere; $a = 3$ mm		1. <input type="checkbox"/> Fără răcire		1. <input type="checkbox"/> Fără răcire	
2. <input type="checkbox"/> Semifinisare		2. Avansul de lucru; $f = 0,3$ mm/rot		2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)		2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă)	
3. <input type="checkbox"/> Finisare		3. Viteza de așchiere; $v = 25,15$ m/min		3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei		3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei	
4. <input type="checkbox"/> Netezire		4. Turația de lucru; $n = 160$ rot/min		4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot) (lichid)		4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot) (lichid)	

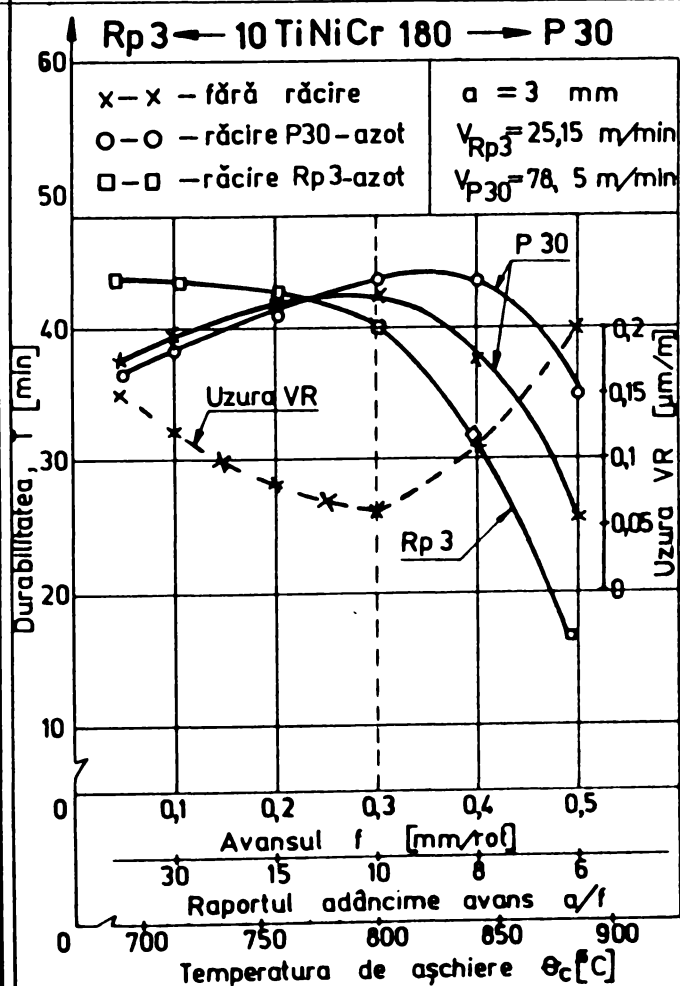
DIAGrame (GRAFICE)		TABEL DE REZULTATE			
<p style="text-align: center;">10 TiNiCr 180 - Rp 3</p> <p>a - răcire cu emulsie a = 3 mm b - răcire cu azot f = 0,3 mm/rot v = 25,15 m/min</p>		Variabila de decizie	Funcția obiectiv		
Den. Timp	Denumire: UZURA				
Simb. t	Simbol: VB				
Unit. min	Unitate: mm				
Nr. det.	Criteriu	Valoarea			
	$V_B = 0,3$ mm	emulsie	azot	calculată	
1	5	0,10	0,08		
2	10	0,25	0,14		
3	15	0,35	0,20		
4	20	0,43	0,19		
5	25	0,55	0,25		
6	30	0,64	0,30		
7	35	0,80	0,35		
8	40	0,95	0,40		
9	-	-	-		
10	-	-	-		

U.E.M. Reșița		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3- P30				FIȘA DE REZULTATE NR: 46	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5$ kw	Material Rp3 - P30	Durabilitate $T = var.$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = -$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10TiNiCr180	Dimensiuni $\phi 50 \times 1000$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U 2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ.+ Vârf -UV 3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV 4. <input type="checkbox"/> Univ+Lunetă+V-ULV		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald) 2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță) 3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis) 4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
		Parametrii geometrici (Unghiuri)					
		$\alpha = 6^\circ$	$\gamma = 12..15^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_T = 0^\circ$		
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare 2. <input type="checkbox"/> Semifinisare 3. <input type="checkbox"/> Finisare 4. <input type="checkbox"/> Netezire		1. Adâncimea de așchiere; $a = 3$ mm 2. Avansul de lucru; $f = 0,3$ mm/rot 3. Viteza de așchiere; $v = var.$ m/min 4. Turația de lucru; $n = var.$ rot/min				1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire 2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apa) 3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei 4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)	



U.E.M. Reșita		OPERAȚIA: STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3- P30				FIȘA DE REZULTATE NR: 47	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 40J	Putere $P_{mu} = 7,5$ kw	Material Rp3 - P30	Durabilitate $T = var.$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = -$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10 TiNiCr 180	Dimensiuni $\phi 50 \times 1000$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U 2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV 3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV 4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V-ULV		$l_0 = 16$ mm	$s_0 = 4$ mm	$r_0 = 1$ mm	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald) 2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță) 3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis) 4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
		Parametrii geometrici (Unghiuri)					
		$\alpha = 6^\circ$	$\beta = 12..15^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_T = 0^\circ$		
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare 2. <input type="checkbox"/> Semifinisare 3. <input type="checkbox"/> Finisare 4. <input type="checkbox"/> Netezire		1. Adâncimea de așchiere; 2. Avansul de lucru; 3. Viteza de așchiere; 4. Turația de lucru;		$a = 3$ mm $f = var.$ mm/rot $v = 25,15 - 78,5$ m/min $n = -$ rot/min	1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire 2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apa) 3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei 4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire ctiogenică (azot lichid)		

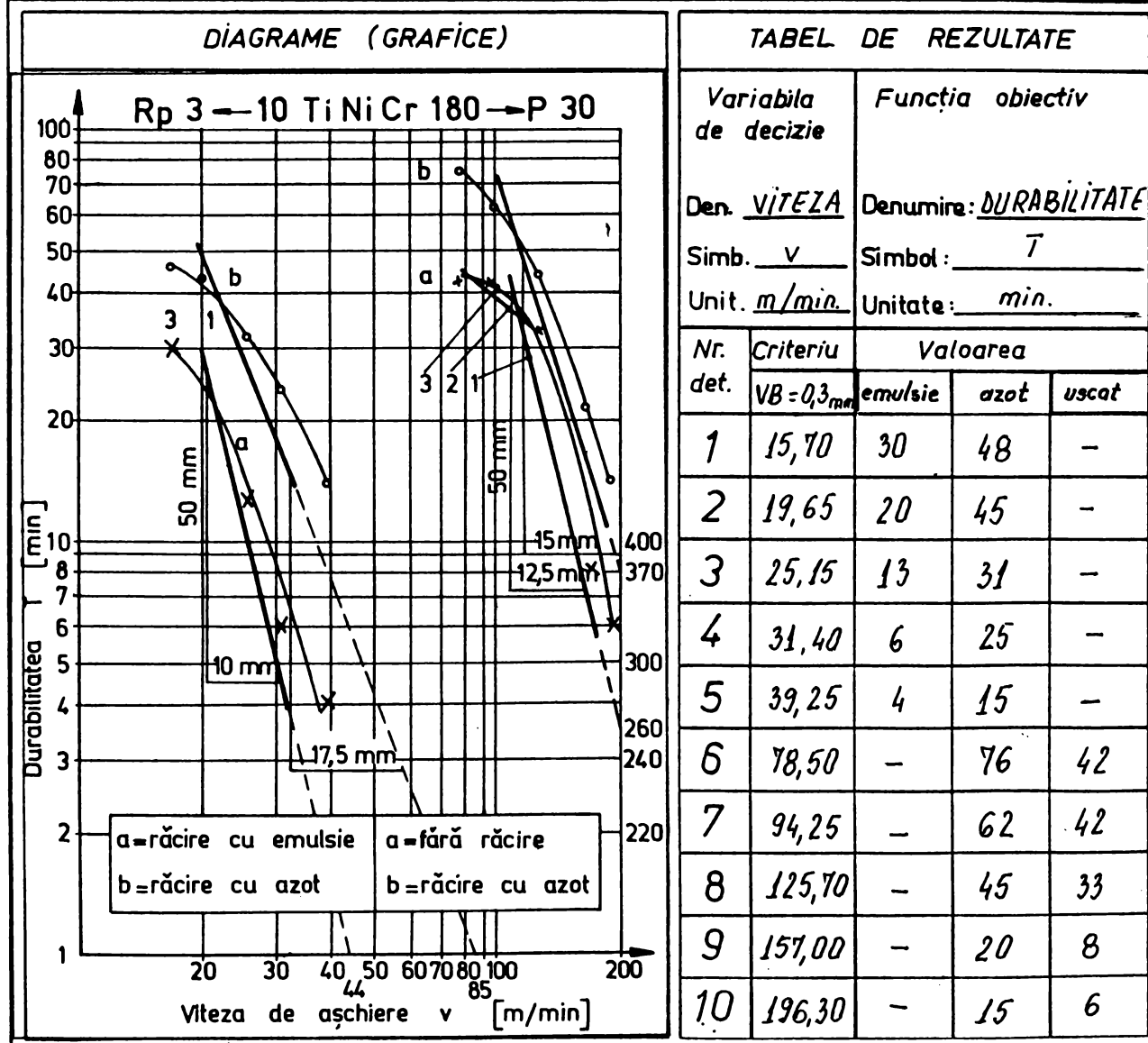
DIAGrame (GRAFICE)



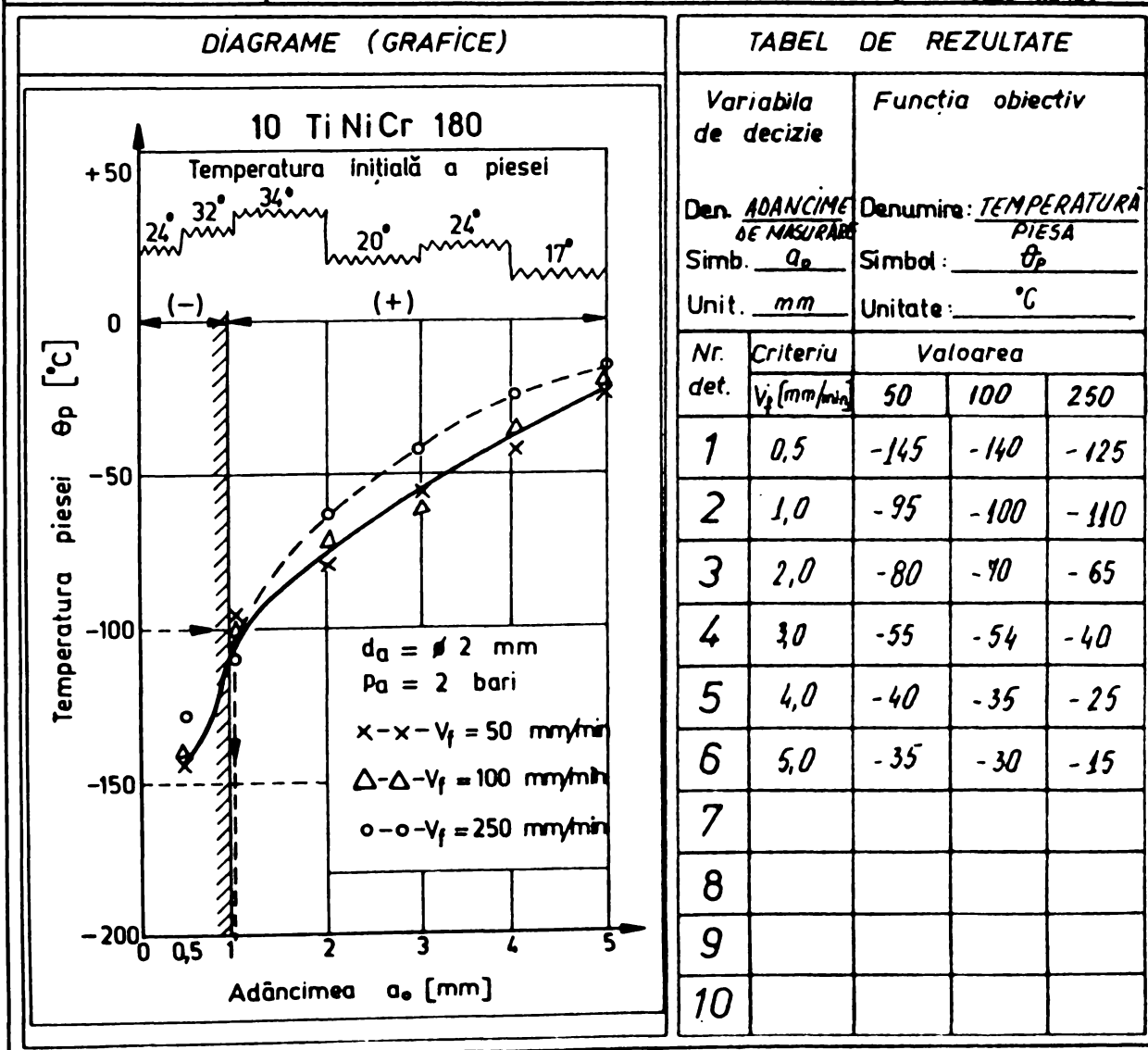
TABEL DE REZULTATE

Variabila de decizie		Funcția obiectiv			
Den. AVANS		Denumire: DURABILITATE			
Simb. f		Simbol: T			
Unit. mm/rot		Unitate: min.			
Nr. det.	Criteriu	Valoarea			
		$VB - 0,3_{me}$	normal	azot	$VR [\mu m/m]$
1	0,05	38	45-38	0,15	
2	0,10	38	44-38	0,12	
3	0,15	42	44-40	0,10	
4	0,20	42	43-40	0,07	
5	0,25	43	43-43	0,06	
6	0,30	43	40-44	0,05	
7	0,40	38	32-45	0,12	
8	0,50	25	18-35	0,20	
9					
10					

U.E.M. Reșița		OPERAȚIA : STRUNJIRE cu PLĂCUȚE Rp3 - P30				FISA DE REZULTATE NR : 48	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5 \text{ kw}$	Material Rp3 - P30	Durabilitate $T = \text{var. min}$	Dimensiuni $D(B \times H) =$	Nr. de dinți $Z = 1$	Material 10 TiNiCr 180	Dimensiuni $\phi 50 \times 1000$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U 2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV 3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV 4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV		$l_0 = 16 \text{ mm}$	$s_0 = 4 \text{ mm}$	$r_0 = 1 \text{ mm}$	$z_0 = 1$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald) 2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță) 3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis) 4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
		Parametrii geometrici (Unghiuri)					
		$\alpha = 6^\circ$	$\gamma = 12..15^\circ$	$K_r = 90^\circ$	$\lambda_r = 0^\circ$		
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare 2. <input type="checkbox"/> Semifinisare 3. <input type="checkbox"/> Finisare 4. <input type="checkbox"/> Netezire		1. Adâncimea de așchiere ; $a = 3 \text{ mm}$ 2. Avansul de lucru ; $f = 0,3 \text{ mm/rot}$ 3. Viteza de așchiere ; $v = \text{var. m/min}$ 4. Turația de lucru ; $n = \text{var. rot/min}$				1. <input checked="" type="checkbox"/> Fără răcire 2. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă) 3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei 4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)	



U.E.M. Reșita		OPERAȚIA : RĂCIRE - MERS ÎN GOL				FISA DE REZULTATE NR : 49	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5$ kw	Material -	Durabilitate $T = -$ min	Dimensiuni $D(B \times H) = -$	Nr. de dinți $Z = -$	Material 10 Ti Ni Cr 180	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U 2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ.+ Vârf -UV 3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV 4. <input type="checkbox"/> Univ+Luneță+V-ULV		$l_0 = -$ mm	$s_0 = -$ mm	$r_0 = -$ mm	$z_0 = -$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald) 2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță) 3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis) 4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
		Parametrii geometrici (Unghiuri)					
		$\alpha = -$	$\beta = -$	$K_r = -$	$\lambda_T = -$		
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare 2. <input type="checkbox"/> Semifinisare 3. <input type="checkbox"/> Finisare 4. <input type="checkbox"/> Netezire		1. Adâncimea de așchiere ; 2. Avansul de lucru ; 3. Viteza de așchiere ; 4. Turajia de lucru ;		$a = -$ mm $f = 0,3$ mm/rot $v_f = var.$ mm/min $n = -$ rot/min		1. <input type="checkbox"/> Fără răcire 2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apa) 3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei 4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire cilogenică (azot lichid)	



U.E.M. Reșița		OPERAȚIA : RĂCIRE - MERS IN GOL				FIȘA DE REZULTATE NR : 50	
MAȘINA		SCULA				PIESA	
Tip SN 401	Putere $P_{mu} = 7,5 \text{ kw}$	Material -	Durabilitate $T = \text{ - min}$	Dimensiuni $D(B \times H) = \text{ -}$	Nr. de dinți $Z = \text{ -}$	Material 40TiN:G J80	Dimensiuni $\phi 50 \times 400$
DISPOZITIV		Parametrii constructivi				SEMIFABRICAT	
1. <input type="checkbox"/> Universal -U 2. <input checked="" type="checkbox"/> Univ. + Vârf -UV 3. <input type="checkbox"/> Vârf + Vârf -VV 4. <input type="checkbox"/> Univ + Lunetă + V -ULV		$l_o = \text{ - mm}$	$s_o = \text{ - mm}$	$r_o = \text{ - mm}$	$z_o = \text{ -}$	1. <input checked="" type="checkbox"/> Laminat (la rece/cald) 2. <input type="checkbox"/> Forjat (liber/matriță) 3. <input type="checkbox"/> Turnat (brut/precis) 4. <input type="checkbox"/> Prelucrat mecanic	
		Parametrii geometrici (Unghiuri)					
		$\alpha = \text{ -}$	$\beta = \text{ -}$	$K_r = \text{ -}$	$\lambda_r = \text{ -}$		
PRELUCRARE		REGIM DE AȘCHIERE				MEDIU	
1. <input checked="" type="checkbox"/> Degroșare 2. <input type="checkbox"/> Semifinisare 3. <input type="checkbox"/> Finisare 4. <input type="checkbox"/> Netezire		1. Adâncimea de așchiere ; $a = \text{ - mm}$ 2. Avansul de lucru ; $f = 0,3 \text{ mm/rot}$ 3. Viteza de așchiere ; $v_f = 100 \text{ m/min}$ 4. Turația de lucru ; $n = \text{ - rot/min}$				1. <input type="checkbox"/> Fără răcire 2. <input type="checkbox"/> Răcire cu emulsie (apă) 3. <input type="checkbox"/> Răcire cu ulei 4. <input checked="" type="checkbox"/> Răcire criogenică (azot lichid)	

DIAGrame (GRAFICE)	TABEL DE REZULTATE																																																										
10 TiNiCr 180																																																											
Temperatura inițială a piesei 20° 24° 30° 22° 24°																																																											
$a_o = 3 \text{ mm}$ $f = 0,3 \text{ mm/rot}$ x-x - $p_a = 1,25 \text{ bar}$ triangle-triangle - $p_a = 2 \text{ bar}$ circle-circle - $p_a = 3,5 \text{ bar}$																																																											
Diametrul diuzei , d_o [mm]																																																											
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nr. det.</th> <th rowspan="2">Criteriu p_a [bar]</th> <th colspan="3">Valoarea</th> </tr> <tr> <th>1,25</th> <th>2</th> <th>3,5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1,0</td><td>0</td><td>-20</td><td>-30</td></tr> <tr><td>2</td><td>1,5</td><td>-30</td><td>-50</td><td>-45</td></tr> <tr><td>3</td><td>2,0</td><td>-50</td><td>-65</td><td>-70</td></tr> <tr><td>4</td><td>3,0</td><td>-85</td><td>-95</td><td>-100</td></tr> <tr><td>5</td><td>4,0</td><td>-110</td><td>-110</td><td>-105</td></tr> <tr><td>6</td><td>5,0</td><td>-110</td><td>-115</td><td>-115</td></tr> <tr><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>8</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>9</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>10</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Nr. det.	Criteriu p_a [bar]	Valoarea			1,25	2	3,5	1	1,0	0	-20	-30	2	1,5	-30	-50	-45	3	2,0	-50	-65	-70	4	3,0	-85	-95	-100	5	4,0	-110	-110	-105	6	5,0	-110	-115	-115	7	-	-	-	-	8	-	-	-	-	9	-	-	-	-	10	-	-	-	-
Nr. det.	Criteriu p_a [bar]			Valoarea																																																							
		1,25	2	3,5																																																							
1	1,0	0	-20	-30																																																							
2	1,5	-30	-50	-45																																																							
3	2,0	-50	-65	-70																																																							
4	3,0	-85	-95	-100																																																							
5	4,0	-110	-110	-105																																																							
6	5,0	-110	-115	-115																																																							
7	-	-	-	-																																																							
8	-	-	-	-																																																							
9	-	-	-	-																																																							
10	-	-	-	-																																																							
	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Variabila de decizie</th> <th>Funcția obiectiv</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Den. <u>NAMETRUL DIUZEI</u></td> <td>Denumire: <u>TEMPERATURA PIESA</u></td> </tr> <tr> <td>Simb. <u>d_o</u></td> <td>Simbol: <u>θ_p</u></td> </tr> <tr> <td>Unit. <u>mm.</u></td> <td>Unitate: <u>°C</u></td> </tr> </tbody> </table>	Variabila de decizie	Funcția obiectiv	Den. <u>NAMETRUL DIUZEI</u>	Denumire: <u>TEMPERATURA PIESA</u>	Simb. <u>d_o</u>	Simbol: <u>θ_p</u>	Unit. <u>mm.</u>	Unitate: <u>°C</u>																																																		
Variabila de decizie	Funcția obiectiv																																																										
Den. <u>NAMETRUL DIUZEI</u>	Denumire: <u>TEMPERATURA PIESA</u>																																																										
Simb. <u>d_o</u>	Simbol: <u>θ_p</u>																																																										
Unit. <u>mm.</u>	Unitate: <u>°C</u>																																																										

3.5.3. Interpretarea rezultatelor

Caracteristicile de uzură și durabilitate pun în evidență următoarele aspecte:

1. La strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice **P30**, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, **durabilitatea plăcuțelor crește de 1,5...2,5 ori**.

2. La strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid **Rp3**, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid, **durabilitatea plăcuțelor crește de 2...4 ori**.

3. Există o corelație directă între intensitatea uzării și durabilitatea plăcuțelor așchietoare, curba de variație a durabilității fiind imaginea în oglindă - la altă scară - a curbei de variație a intensității uzării, ambele curbe prezentând **două puncte de extrem**.

4. Temperatura din zona tăișului sculei, precum și variația ei, în funcție de viteză și avans, are o influență hotărâtoare asupra intensității uzurii plăcuțelor, determinând ponderea fiecărei din cele două forme principale de uzare - **prin adeziune**, care se consideră independentă de temperatură, și **prin difuziune**, care depinde de temperatură.

5. La viteze de așchiere mici ($v_c < 50$ m/min.), apare **primul punct de maxim** al intensității uzării și de **minim** al durabilității; el corespunde momentului desprinderii depunerilor de pe tăiș la vitezele critice de **30...35 (max. 40) m/min.**

6. La viteze cuprinse între **75...110 (max. 125) m/min.** și avansuri în jur de **0,3 mm/rot**, când uzura prin adeziune este relativ mică, iar cea prin difuziune nu prezintă încă importanță, apare **cel de-al doilea minim** de dependență uzură-viteză și de **maxim** de dependență durabilitate-viteză de așchiere.

7. La viteze de prelucrare de peste **125 m/min.**, când temperatura de așchiere este mai mare de 800°C, uzura prin difuziune este preponderentă, și caracteristica de uzură crește accentuat, iar durabilitatea scade exponențial.

8. Curbele variației durabilității în funcție de viteză respectă relația lui Taylor numai pentru următoarele game de viteze de așchiere:

- **10...50 m/min.** - gamă specifică prelucrării cu plăcuțe din oțel rapid **Rp3**;
- **75...200 m/min.** - gamă specifică prelucrării cu plăcuțe din carburi metalice **P30**, și - în scară logaritmică - variația poate fi considerată liniară.

9. Gama de viteze **50...75 m/min.** este una de tranziție, în care relația lui Taylor nu mai este respectată, și - în coordonate logaritmice - variația devine neliniară, aspect arătat

și în [1], [24], [76], însă insuficient studiat până în prezent.

10. Efectul de răcire al azotului lichid este favorabil strunjirii oțelului 10 TiNiCr 180, în condiții de răcire criogenică, numai pentru temperaturi de răcire a piesei între -25°C și -100°C . Pentru temperaturi de peste -25°C (diametre ale diuzei mai mici de 1,5 mm) nu se constată îmbunătățiri evidente ale prelucrării prin strunjire criogenică a oțelului inoxidabil austenitic - față de strunjirea obișnuită. Dacă se ating temperaturi sub -100°C (diametre ale diuzei mai mari de 3 mm), prelucrarea în condiții de răcire criogenică nu mai este eficientă. Totodată se constată o înrăutățire a calității suprafeței și o creștere a forței principale de așchiere.

Aspectele prezentate - confirmate și de [22], [37], [80] - se explică prin reducerea sau chiar eliminarea completă a formelor de uzare specifice temperaturilor înalte, cum sunt uzarea prin difuziune și prin adeziune. Uzarea prin difuziune este redusă îndeosebi la plăcuțele din carburi metalice, unde tendința de trecere a carbonului din carburile de wolfram și a cobaltului - ca liant - în austenită este mai mare. În același timp, procesul de răcire intensă a plăcuțelor din oțel rapid duce la micșorarea solicitărilor termice ale acestora, măbind rezistența lor la oboseală.

3.5.4. Prelucrarea statistică a datelor experimentale

Constantele din ecuația lui Taylor - la strunjirea oțelului inoxidabil 10 TiNiCr 180, în condiții de răcire criogenică cu azot lichid - s-au estimat atât pe cale analitică, prin metoda statistică de analiză a dreptei de regresie, cât și grafic (fișa de rezultate nr. 48), în conformitate cu STAS 12046/2-84.

Datele de calcul pe domeniul de valabilitate al relației lui Taylor - $v=10\text{...}50$ m/min., la prelucrarea cu plăcuțe din Rp 3, respectiv $v=75\text{...}200$ m/min., la prelucrarea cu plăcuțe din P 30 - sunt date în tabelul 3.25.

Calculul analitic al exponentului M și al constantei C_v din ecuația lui Taylor:

$$v \cdot T^m = C_v, \quad (3.13)$$

s-a efectuat cu ajutorul dreptei de regresie obținută prin metoda celor mai mici pătrate, care impune ca suma pătratelor distanțelor între punctele reprezentând valorile experimentale

și dreapta dată de relația

$$y = y_m + z(x - x_m) \quad (3.14)$$

trebuie să fie minimă.

Tabelul 3.25

Nr. det.	Viteza de aşchiere		Durabilitatea T [min.]				y=lg T	
	v [m/min.]	x=lg v	Rp 3		P 30		Strunjire:	
			E*	A**	U***	A	normală	criogenică
1	15,70	1,195	30	48			1,477	1,681
2	19,65	1,293	20	45			1,301	1,653
3	25,15	1,400	13	31		-	1,114	1,491
4	31,40	1,497	6	25			0,778	1,398
5	39,25	1,594	4	15			0,602	1,176
6	78,50	1,895			42	76	1,623	1,881
7	94,25	1,974			42	62	1,623	1,792
8	125,70	2,100		-	33	45	1,518	1,653
9	157,00	2,195			8	20	0,903	1,301
10	196,30	2,293			6	15	0,778	1,176

* emulsie; ** azot; *** uscat.

Având în vedere relațiile de legătură între constante [79], [99], [101]:

$$k = \frac{\sum xy - (\sum x \sum y)/n}{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}; \quad z = -2k; \quad m = 1/z; \quad \lg C_v = x_m - y_m/k \quad (3.16)$$

în care: x_m - valoarea medie a vitezelor;
 y_m - valoarea medie a durabilităților;
 $n=5$ - număr de determinări;

se obține:

■ la strunjirea cu plăcuțe Rp 3:

a - răcire cu emulsie:

$$x_m=1,395; y_m=1,055;$$

$$k=-2,5; z=5,0;$$

$$m=0,20; C_v=42.$$

b - răcire cu azot:

$$x_m=1,395; y_m=1,479;$$

$$k=-1,4; z=2,8;$$

$$m=0,35; C_v=83.$$

■ la strunjirea cu plăcuțe P 30:

a - fără răcire:

$$x_m=2,091; y_m=1,289;$$

$$k=-2,0; z=4,0;$$

$$m=0,25; C_v=254.$$

b - răcire cu azot:

$$x_m=1,395; y_m=1,560;$$

$$k=-1,65; z=3,3;$$

$$m=0,30; C_v=367.$$

Dispersia rezultatelor este corectă, pentru că raportul r^2/s^2 este superior coeficientului lui Fischer [99], așa cum rezultă din tabelul 3.26.

Tabelul 3.26

Tip plăcuță	Mediu de răcire	r^2	s^2	r^2/s^2	F ($n_0=3$)
Rp 3	emulsie	0,596	$7,3 \cdot 10^{-3}$	81,6	10,13
	azot	0,179	$3,7 \cdot 10^{-3}$	48,4	
P 30	fără răcire	0,506	$5,6 \cdot 10^{-3}$	90,3	
	azot	0,325	$2,7 \cdot 10^{-3}$	120,4	

Semnificația notațiilor este următoarea:

r^2 - suma celor mai mici pătrate ale valorilor obținute prin regresie;

s^2 - variația reziduală, ca abatere medie pătratică a valorilor experimentale, față de valorile calculate;

F=10,13 - coeficientul lui Fischer, pentru un nivel de încredere de 90%.

Intervalul de încredere pentru calculul durabilității medii s-a obținut cu ajutorul relației date de distribuția Student:

$$\Delta y = \pm s \cdot \frac{t}{\sqrt{n}}, \quad (3.17)$$

în care: $t=3,182$ - valoarea Student, pentru un nivel de încredere de 95%.

Valoarea medie și limitele durabilității - pentru condițiile de lucru analizate - sunt prezentate în tabelul 3.27:

Tabelul 3.27

Tip plăcuță	Mediu de răcire	T_{\max}	T_{med}	T_{\min}	s	Δy	$t(n_0=3)$
Rp 3	emulsie	15	12	9	0,085	0,121	3,182
	azot	37	30	25	0,061	0,087	
P 30	fără răcire	25	20	16	0,075	0,106	
	azot	43	36	30	0,052	0,074	

Pentru scrierea ecuației lui Taylor în diferite forme de prezentare, s-a considerat ca valoare etalon $T_0=15$ min., avându-se în vedere atât rezultatele din tabelul 3.27, cât și faptul că majoritatea regimurilor de așchiere recomandate de firmele producătoare sunt pentru această durabilitate de referință [89], [90], [91], [92], [93].

Forma directă a ecuației lui Taylor este următoarea:

$$v = \frac{C_{v15}}{T^m \cdot f^{y_v} \cdot a^{x_v}} \cdot k_v, \quad (3.17)$$

iar forma inversă este

$$T = \frac{k_t}{v^{\frac{1}{m}} \cdot f^{\frac{y_v}{m}} \cdot a^{\frac{x_v}{m}}}, \quad (3.18)$$

În care relațiile de legătură între constante sunt următoarele:

$$C_{v15} = C_v \cdot 15^m; \quad k_t = 15 \cdot (C_v \cdot k_v)^{\frac{1}{m}}. \quad (3.19)$$

Valorile constantelor și exponenților - determinate experimental - sunt prezentate în tabelul 3.28. Se constată inegalitatea:

$$\frac{x_v}{m} < \frac{y_v}{m} < \frac{1}{m}. \quad (3.20)$$

care arată că viteza de aşchiere exercită cea mai mare influenţă asupra durabilităţii unei plăcuţe, apoi urmează avansul, iar adâncimea are cea mai redusă influenţă, indiferent de mediul de răcire folosit.

Tabelul 3.28

Tip plăcuţă	Mediu de răcire	C_v	C_{v15}	m	$1/m$	y_v	y_v/m	x_v	x_v/m
Rp 3	emulsie	42	25	0,20	5,0	0,27	1,35	0,18	0,90
	azot	83	48	0,35	2,8		0,77		0,52
P 30	fără răcire	254	147	0,25	4,0		1,08		0,72
	azot	367	211	0,30	3,3		0,90		0,60

În diagrama din fişa de rezultate nr. 48 se prezintă dependenţa liniară, dar şi cea neliniară dintre durabilitate şi viteză - propusă de Kolding [26], pe care autorul o justifică prin modificarea intensităţii de uzare a plăcuţelor în funcţie de temperatură. La viteze mici de aşchiere, apariţia tăişului de depunere - ca urmare a acţiunii preslunii specifice la temperaturi joase de aşchiere - duce la o intensitate aproape constantă de uzare a plăcuţelor. Dacă viteza de aşchiere creşte de la valori mici la valori mijlocii, atunci intensitatea de uzare se reduce într-o anumită măsură şi creşte din nou la viteze mari, datorită microsudurilor apărute la temperaturi înalte de aşchiere.

De asemenea, s-a trasat şi dependenţa T-v, propusă de Zorev [81], sub forma unei polilini constituită din două segmente cu pante diferite. Până la o anumită viteză critică, intensitatea de uzare este mică şi depinde de stabilitatea stratului „frânat“ al materialului de prelucrat. La depăşirea acestei viteze, stratul de protecţie devine instabil şi intensitatea de uzare a plăcuţelor creşte accentuat.

3.6. Norme privind tehnica securității muncii la strunjirea în condiții de răcire criogenică

Experiența practică din timpul încercărilor privind strunjirea în condiții de răcire criogenică a arătat că se poate lucra **fără pericol**, dacă se respectă anumite norme și prescripții, generale dar și specifice, cum ar fi:

1. Normele de securitate a muncii pentru prelucrarea metalelor prin așchiere [87].
2. Prescripțiile tehnice privind proiectarea, execuția și exploatarea recipientelor metalice sub presiune [88].
3. La contactul cu lichidele criogenice, pe piele pot apărea **arsuri reci** puternice, asemănătoare celor obișnuite. Pentru evitarea lor, se recomandă un echipament de protecție adecvat, în special mănuși de piele pentru protejarea mâinilor. În caz de arsuri, locul trebuie bine spălat cu **apă caldă**, iar partea vătămată **nu se masează**, întrucât este posibilă lezarea suplimentară a țesutului conjunctiv.
4. La temperaturi joase, apare efectul de creștere accentuată a presiunii din vasul de stocare - prin transformarea de fază lichid-gaz - care poate provoca perturbații în funcționarea instalației și chiar distrugerea ei. De aceea, pentru protecția recipientului împotriva creșterii presiunii peste cea maximă admisibilă, se prevăd cel puțin două dispozitive de siguranță (supapă de siguranță, membrană de siguranță, etc.), iar vasul se umple doar la 80% din capacitatea lui.
5. La cuplarea vasului în circuit, robinetul manual de reglare va fi deschis, pentru a se evita creșterea presiunii (de până la 10 ori) la pătrunderea lichidului din vas în conducta (de transfer) caldă.
6. Pe întreg traseul de transfer al lichidului criogenic se va urmări evitarea fenomenului de formare a „dopurilor” de blocaj, prin izolarea termică eficientă a conductelor

din cupru, sau prin folosirea unor tuburi speciale (destinate răcirii criogenice).

7. În perioada de tranziție - de la pornirea instalației și până la curgerea continuă a azotului lichid - se va evita răcirea excesivă a unor părți ale mașinii (săni, suport, universal, etc.), la care - prin fragilizare - se pot produce fisuri și rupeți casante, ceea ce ar duce la scoaterea din uz a strungului și chiar la posibila accidentare a persoanelor aflate în apropiere [71].

8. În timpul în care scula va fi readusă în poziția inițială de lucru, pentru a nu se produce încălzirea ei și a conductelor de transfer până la temperatura ambiantă, se va asigura un debit minim de azot lichid în circuitul de răcire.

9. După efectuarea operației tehnologice, mașina se va curăța și se va unge, pentru a fi evitată apariția ulterioară a petelor de rugină, datorate răcirii criogenice.

10. Incinta de lucru va fi prevăzută cu ferestre de aerisire, pentru a nu apărea fenomenul de acumulare a azotului lichid - în stare gazoasă - în zona de lucru, cu efecte negative asupra capacității de muncă a operatorului.

CAPITOLUL IV

OPTIMIZAREA PRELUCRĂRII PRIN STRUNJIRE ÎN CONDIȚII DE RĂCIRE CRIOGENICĂ ASISTATĂ DE CALCULATOR

4.1. Problema de optim

Proiectarea unei tehnologii de prelucrare mecanică prin aşchiere se realizează în mai multe variante, echivalente din punct de vedere tehnic, dar nu și economic.

Prin **optimizare** se urmărește determinarea **variantelor optime** de tehnologie, adică acea variantă care să asigure o **eficiență maximă**.

Prin **eficiență** se înțelege raportul

$$E = \left[\frac{Y}{X} \right]_{tp} , \quad (4.1)$$

dintre mărimea de ieșire (Y), numită **efect**, și mărimea de intrare (X), numită **efort** - într-un anumit **țimp de prelucrare** (t_p).

Concretizând, relația de calcul a eficienței - pentru cazul prelucrării mecanice prin aşchiere - efectul se exprimă prin **profitul realizat**, efortul depus este dat de **costul de prelucrare**, iar prin **țimpul de prelucrare** se evaluează **capacitatea de producție**.

Deoarece efortul depus nu se regăsește complet în efectul obținut, pentru ca eficiența să tindă spre valoarea maximă, la prelucrarea mecanică prin aşchiere trebuie să se realizeze:

a - răsplată maximă (profitul realizat să fie maxim), la un efort dat și într-un anumit timp;

b - efort minim (costul de prelucrare să fie minim), la o răsplată impusă și într-un anumit timp;

c - timp de prelucrare cât mai mic (capacitatea de producție să fie maximă).

Problematika optimizării tehnologiei de prelucrare mecanică prin aşchiere vizează un mare număr de aspecte, dintre care cele mai importante sunt (fig.4.1):

- 1 - stabilirea succesiunii optime a operațiilor și fazelor tehnologice;
- 2 - determinarea adausurilor optime de prelucrare și a dimensiunilor tehnologice intermediare;
- 3 - alegerea geometriei optime a sculelor aşchietoare;
- 4 - optimizarea parametrilor regimurilor de aşchiere;

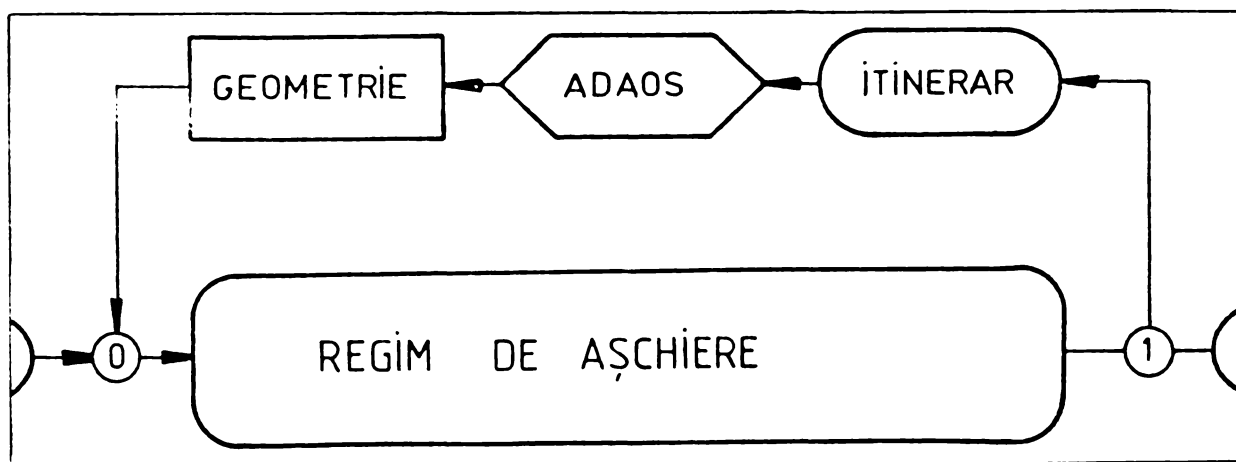


Fig.4.1. Optimizarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin aşchiere.

Prelucrarea mecanică prin aşchiere este un proces complex, și de aceea pentru optimizare nu se pot lua în considerare toți factorii de influență fără a se pierde din claritatea programului de optimizare [24].

Pentru a pune în evidență eficiența prelucrării prin strunjire criogenică a oțelurilor inoxidabile austenitice comparativ cu cea normală, s-a recurs la optimizarea parametrilor regimului de aşchiere - acesta influențând hotărâtor indicatorii tehnico-economici ai procesului de aşchiere [1], [24], [31], [34], [54]. Totodată, așa cum se observă din fig.4.2, în relațiile de calcul ale parametrilor regimului de aşchiere s-a ținut seama și de influența fazei de prelucrare (degroșare sau finisare), a tipului de plăcuță (din oțel rapid sau din carburi metalice) și a modului de răcire (normală sau criogenică), prin includerea acestor

factori în relațiile de calcul ale restricțiilor funcției obiectiv.

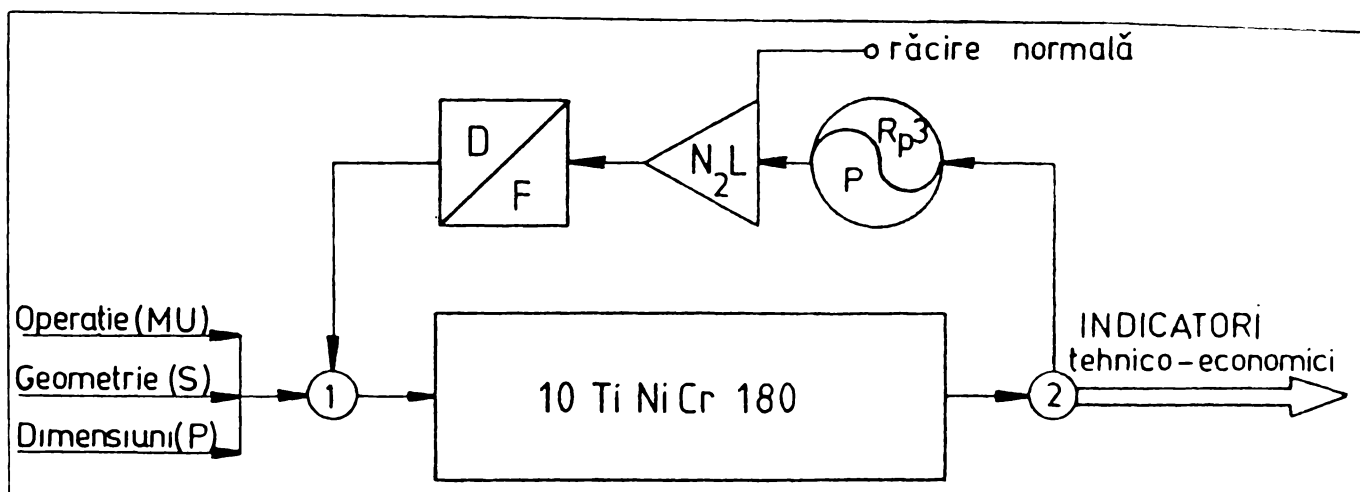


Fig.4.2. Optimizarea parametrilor regimului de strunjire criogenică.

Din analiza sistemică prezentată se disting:

■ **mărimile de intrare**, referitoare la:

a - caracteristicile de material, forma și dimensiunile piesei:

1) caracteristicile oțelului: $R_m - k_{c1} - m_c - HB$;

2) forma suprafeței: cilindrică exterioară (CE) - cilindrică interioară (CI) - conică (CN) - plană frontală (PF);

3) dimensiunile suprafeței: $d_{n-1 \max} - d_{n-1 \min} - L - D$;

4) calitatea suprafeței: $N - R_a - R_t - H_t$

b - geometria optimă și elementele constructive ale cuțitului, recomandate de către firmele producătoare:

1) unghiurile constructive: $\alpha_n - \gamma_n - \kappa_r - \lambda_t$;

2) dimensiunile plăcuței: $l_0 - s_0 - n_0 - r_0$;

3) dimensiunile cuțitului: $B - H - L_c - z$;

4) sistemul de fixare al plăcuțelor: **C - P - M - S.**

c - caracteristicile mașinii unelte:

1) gama de avansuri: f_{mu} ;

2) gama de rotații: n_{mu} ;

3) puterea nominală de acționare: P_{mu} ;

4) randamentul mașinii: η_{mu} .

d - modul de orientare și de fixare a piesei în dispozitiv:

1) prindere în universal (**U**);

2) prindere în universal și vârf (**UV**);

3) prindere între vârfuri (**VV**);

4) prindere între vârfuri și sprijinire cu lunetă (**VVL**).

■ **elementul de bază** îl reprezintă materialul de prelucrat: **10 TINICr 180.**

■ **elementul traductor** este definit de către tipul de plăcuță: **Rp 3 sau P.**

■ **elementul comparator**, constituit din mediul de aşchiere: răcire cu **azot** sau **normală.**

■ **elementul regulator**, dat de faza de prelucrare: **degroșare** sau **finisare.**

■ **mărimile de leșire**, adică:

a - Indicatorii tehnici:

1) parametrii regimului de aşchiere: **a - f - v - n;**

2) parametri dinamici: **$k_c - F_c - M_c - P_c$;**

3) parametri mediului de răcire: **$d_a - p_a - Q_v - v_a$;**

4) modelul de lucru: **2D - linlar și 2D - nelinlar,**

3D - linlar și 3D - nelinlar.

b - indicatorii economici:

1) costul de prelucrare **C_p ;**

2) capacitatea de producție **Q_p ;**

3) manopera de prelucrare **M_p ;**

4) profitul realizat **P_r**

Etapele de optimizare sunt următoarele:

1. Alegerea variabilelor de decizie.

2. Stabilirea funcției obiectiv.

3. Impunerea restricțiilor tehnice ale funcțiilor obiectiv.

4. Proiectarea programelor de rezolvare a modelelor de optimizare.

4.2. Variabilele de decizie

Variabilele de decizie, în cazul strunjirii criogenice, sunt parametrii regimului de așchiere:

a - adâncimea de așchiere [mm];

f - avansul de lucru [mm/rot.];

v - viteza de așchiere [m/min.].

Pentru ca programul de optimizare proiectat să poată fi aplicat la mai multe operații și faze de prelucrare prin strunjire, s-au construit patru modele de calcul, prezentate în fig.4.3.

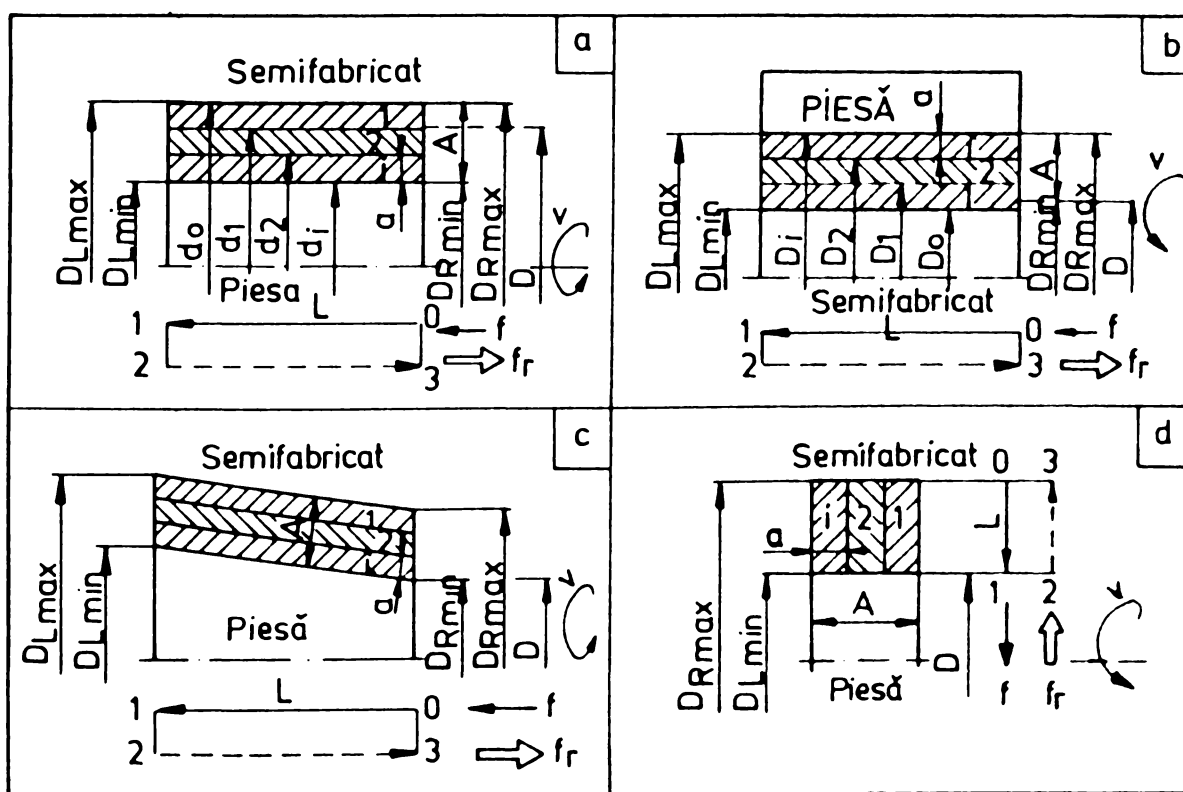


Fig.4.3. Modele de calcul pentru optimizarea prelucrării prin strunjire:

a) modelul strunjirii cilindrice exterioare; b) modelul strunjirii cilindrice interioare;

c) modelul strunjirii conice; d) modelul strunjirii frontale.

Semnificația notațiilor din fig.4.3 este următoarea:

DRmax - diametrul maxim-dreapta (de intrare), după direcția de avans;

DRmin - diametrul minim-dreapta (de intrare), după direcția de avans;

DLmax - diametrul maxim-stânga (de ieșire), după direcția de avans;

DLmin - diametrul minim-stânga (de ieșire), după direcția de avans;

L - lungimea de prelucrare la o operație/fază, pe o anumită suprafață;

A - adausul de prelucrare;

I - numărul de treceri;

fr - avansul de retragere, pentru revenirea cuțitului în poziția inițială, în vederea executării unei noi treceri de prelucrare.

În calculul de optimizare s-a ținut premanent seama de relațiile directe de legătură dintre variabilele de decizie:

■ relația lui Taylor:

$$T = k_t \cdot v^{-\frac{1}{m}} \cdot f^{-\frac{y_v}{m}} \cdot a^{-\frac{x_v}{m}}, \quad (4.2)$$

în care: $k_t = 15 (C_v k_v)^{1/m}$ - coeficientul durabilității plăcuțelor, în funcție de condițiile de strunjire.

■ relația de calcul a timpului de bază:

$$t_b = \frac{L}{n \cdot f} \cdot i = \frac{L A}{n \cdot f \cdot a}. \quad (4.3)$$

■ relația dintre viteză și turație:

$$v = \frac{\pi D n}{1.000}. \quad (4.4)$$

Prin înlocuirea relației (4.4) în relația (4.3), se obține relația finală de calcul a timpului de bază:

$$t_b = k_n \cdot v^{-1} \cdot f^{-1} \cdot a^{-1}, \quad (4.5)$$

în care: $k_n = \pi D L A 10^{-3}$ - coeficientul timpului de bază, care reprezintă de fapt volumul de așchii detașate [cm³].

Diametrul D plesei, conform [24], se calculează cu relația:

$$D=DR_{\max}-1/3 (DR_{\max}-DR_{\min}), \quad (4.6)$$

care se poate particulariza pentru fiecare tip de prelucrare.

4.3. Funcțiile obiectiv

Optimizarea prelucrării prin strunjire, în condiții de răcire criogenică, impune crearea modelului matematic, care să descrie - în primul rând - **criteriul de optimizare**.

Drept criterii de optimizare s-au ales, succesi, următorii indicatori economici:

1. capacitatea de producție Q_p [cm^3 - aşchii detaşate pe operație/min.];
2. costul de prelucrare C_p [lei/operație];
3. profitul realizat P_r [lei/min.-operație].

Expresia matematică a unui criteriu de optimizare este **funcția obiectiv** (de performanță), și ea trebuie **minimizată** sau **maximizată**, pentru a se determina valorile optime ale variabilelor de decizie.

4.3.1. Optimizarea după criteriul capacității maxime de producție

Capacitatea de producție este invers proporțională cu **timpul de prelucrare**:

$$Q_p = \frac{1}{t_p} [\text{cm}^3 - \text{aşchii detaşate / min.}] . \quad (4.7)$$

Pentru a realiza o capacitate maximă de producție, timpul de prelucrare trebuie să fie minim [1], [24], [35], [54], [57], [85].

Timpul de prelucrare la strunjirea cu un singur cuțit se calculează cu relația

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 \quad (4.8)$$

în care: $t_1 = t_{aM}$ - timpul auxiliar, independent de viteză, pentru pregătirea mașinii, reglarea instalației de răcire și controlul piesei, excluzând timpul de înlocuire al plăcuțelor;

$t_2 = t_b$ - timpul de bază, care scade odată cu creșterea vitezei de aşchiere;

$t_3 = t_{aS} n_S$ - timpul auxiliar de înlocuire al plăcuțelor, care crește odată cu creșterea vitezei de aşchiere;

t_{aS} - timpul de înlocuire al unei singure plăcuțe aşchietoare;

$n_s = t_b / T$ - numărul înlocuirilor de plăcuțe necesar pentru detașarea volumului de așchii.

Substituind în relația (4.8) expresiile durabilității (relația (4.2)) și a timpului de bază (relația (4.5)), se obține relația de calcul a timpului de prelucrare sub forma următoare:

$$t_p = t_{aM} + k_n \cdot v^{-1} \cdot f^{-1} \cdot a^{-1} + \frac{k_n \cdot v^{\frac{1}{m}-1} \cdot f^{\frac{y_v}{m}-1} \cdot a^{\frac{x_v}{m}-1}}{k_t} \cdot t_{aS} \quad (4.9)$$

Extremele timpului de prelucrare - ca funcție obiectiv - aparțin mulțimilor soluțiilor sistemului:

$$\frac{\partial t_p}{\partial v} = 0 ; \quad \frac{\partial t_p}{\partial f} = 0 ; \quad \frac{\partial t_p}{\partial a} = 0 ; \quad \text{s.c.l.} \quad (4.10)$$

Punând condiția de minim pentru timpul de prelucrare, în raport cu viteza, se obține ecuația:

$$0 + (-1)k_n v^{-2} f^{-1} a^{-1} + \left(\frac{1}{m} - 1\right) \frac{k_n \cdot v^{\frac{1}{m}-2} \cdot f^{\frac{y_v}{m}-2} \cdot a^{\frac{x_v}{m}-2}}{k_t} \cdot t_{aS} = 0 , \quad (4.11)$$

Iar în final [24]:

$$k_t \cdot v^{-\frac{1}{m}} \cdot f^{-\frac{y_v}{m}} \cdot a^{-\frac{x_v}{m}} = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot t_{aS} \quad (4.12)$$

Prin analogie cu relația 4.12, se pot scrie relațiile pentru timpul minim de prelucrare, în raport cu avansul, respectiv adâncimea de așchiere:

$$k_t \cdot v^{-\frac{1}{m}} \cdot f^{-\frac{y_v}{m}} \cdot a^{-\frac{x_v}{m}} = \left(\frac{y_v}{m} - 1\right) \cdot t_{aS} \quad , \quad \text{respectiv} \quad k_t \cdot v^{-\frac{1}{m}} \cdot f^{-\frac{y_v}{m}} \cdot a^{-\frac{x_v}{m}} = \left(\frac{x_v}{m} - 1\right) \cdot t_{aS} \quad (4.13)$$

Deoarece $1/m \neq y_v/m \neq x_v/m$ (tab.3.28), nu există un **minim unic** al timpului de prelucrare. În fig.4.4 se prezintă dependența f-v, fără restricții, pentru timpul minim de prelucrare. Axa timpului de prelucrare este perpendiculară pe planul f-v.

Pentru că nu există un minim unic, este necesar să se aleagă „calea de urmărire“ pentru determinarea valorilor optime ale vitezei și avansului. Cum $y_v / m < 1 / m$, graficul timpului minim de prelucrare în raport cu viteza este sub graficul timpului minim de prelucrare în raport cu avansul.

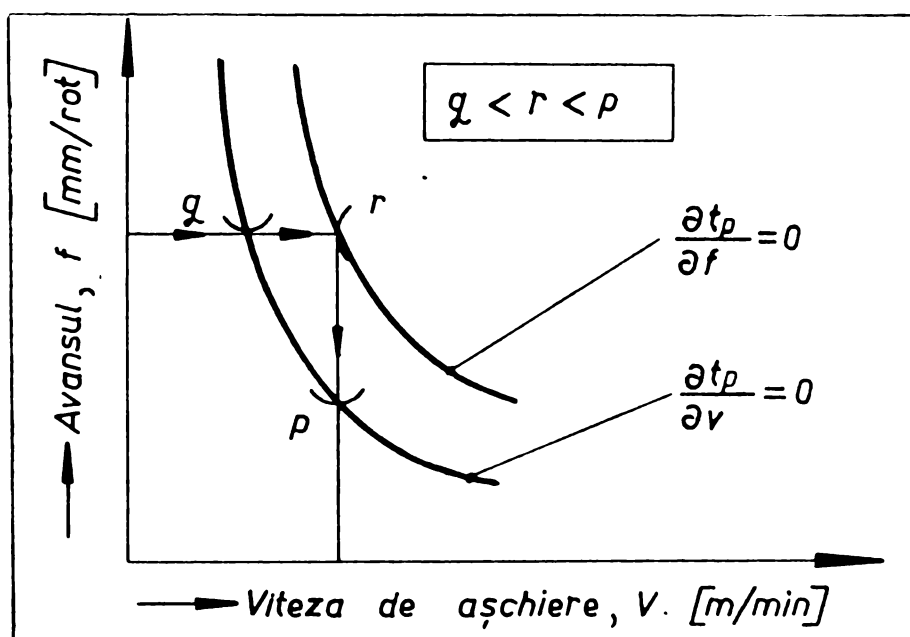


Fig.4.4. Dependența f-v, fără restricții, pentru timpul minim de prelucrare.

Deoarece valorile timpului de prelucrare în punctele q, r și p sunt în relația $q < r < p$, se constată că timpul de prelucrare scade odată cu creșterea avansului.

4.3.2. Optimizarea după criteriul costului minim de prelucrare

Costul de prelucrare, excluzând costul materialului, s-a calculat cu relația:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 \quad [\text{lei} / \text{min. operație}], \quad (4.14)$$

în care: $C_1 = C_M t_{aM}$ - costuri de mașină - auxiliare (indirecte), reprezentând cheltuielile generate de timpul auxiliar (exceptând timpul auxiliar de înlocuire al plăcuțelor);

$C_2 = C_m t_b$ - costuri de mașină - principale (directe), reprezentând cheltuielile generate de timpul de bază;

$C_3 = C_{SP} + C_{SR} = (C_S + C_M t_{aS}) n_S$ - costuri legate de achiziționarea cuțitului și a plăcuțelor.

$C_{SP} = C_S n_S$ - cheltuielile de amortizare a prețului de cumpărare a cuțitului și a plăcuțelor așchietoare;

$C_{SR} = C_M t_{aS} n_S$ - cheltuieli legate de înlocuirea (sau reascuțirea) plăcuțelor așchietoare uzate.

Costul ce revine unui tăiș (C_S) din prețul total de cumpărare al cuțitului și plăcuțelor s-a calculat cu relația:

$$C_S = C_{TS} + C_{TP} \quad [\text{lei} / \text{tăiș}], \quad (4.15)$$

în care: $C_{TS} = V_S / n_0 z$ - costul ce revine unui tăiș, din prețul cuțitului;

$V_S = 89.600$ lei (64 DM) - prețul de cumpărare al cuțitului;

$n_0 = 2$ - numărul de tășuri (muchii așchietoare) al plăcuțelor;

$z = 1$ - numărul de plăcuțe (dinți) al cuțitului;

$C_{TP} = V_P / n_0$ - costul ce revine unui tăiș, din prețul unei plăcuțe;

$V_P = 14.000$ lei (10 DM) - prețul de cumpărare al plăcuțelor din carburi metalice (Sandvik Coromant - Suedia);

$V_P = 1.600$ lei - prețul de achiziționare al plăcuțelor din oțel rapid (U.C.M. Reșița S.A. - România);

$n_S = t_b / T$ - numărul de plăcuțe înlocuite pentru detașarea volumului de așchii, în timpul de bază t_b , la o durabilitate T a acestora.

Costul unui minut de lucru pe mașină (C_M) s-a calculat cu relația:

$$C_M = (1 / 60) (C_U + C_A + C_E + C_R) \quad [\text{lei} / \text{min. operație}], \quad (4.16)$$

în care: $C_U = C_{MU} + C_{IRC}$ - cheltuieli cu amortizarea utilajului tehnologic - format din strung și instalația de răcire criogenică;

C_A - cheltuieli cu consumul de azot;

C_E - cheltuieli cu consumul de energie;

C_R - cheltuieli cu salariul operatorului și de regie.

Cheltuielile cu amortizarea strungului se calculează cu relația:

$$C_{MU} = \frac{V_{MU}}{T_d} \left(\frac{1}{A_{MU}} + k_{\theta} \right) \quad [\text{lei} / \text{h}], \quad (4.17)$$

în care: $V_{MU} = 20$ milioane lei - valoarea strungului;

$T_d = 4.000$ h / an - timpul disponibil pentru două schimburi, dintr-un an;

$A_{MU} = 10$ ani - durata de amortizare a strungului [75];

$k_e = 0,3$ (30%) - coeficient ce ține seama de cheltuielile de întreținere ale strungului.

Cheltuielile cu amortizarea instalației de răcire criogenică cu azot lichid sunt date de relația:

$$C_{IRC} = \frac{V_{IRC}}{T_d} \left(\frac{1 + k_e}{A_{IRC}} + k_e \right) \text{ [lei/h] ,} \quad (4.18)$$

în care: $V_{IRC} = 10,5$ milioane lei - prețul estimativ al instalației;

$A_{IRC} = 5$ ani - durata de amortizare a instalației;

$k_e = 0,5$ (50%) - coeficient ce ține seama de cheltuielile de proiectare ale instalației;

Cheltuielile cu consumul de azot s-au calculat cu relația:

$$C_A = C_{MCh} Q_v (1 + k_u) \text{ [lei / h]} \quad (4.19)$$

în care: $C_{MCh} = 250$ lei / l - costul unui litru de azot lichid [78];

$Q_v = 20$ l / h [0,33 l / min.] - consumul orar de azot lichid.

$k_u = 0,2$ (20%) - coeficient care ține seama de pierderile din circuit în perioada de tranziție și de consumul de aer comprimat.

Cheltuielile cu consumul de energie se pot calcula cu relația:

$$C_E = C_{kWh} P_{MU} (1 + k_g) \text{ [lei / h]} \quad (4.20)$$

în care: $C_{kWh} = 180$ lei - costul actual al unui kWh de energie;

$P_{MU} = 7,5$ kW - puterea nominală a strungului;

$k_g = 0,1$ (10%) - coeficient ce ține seama de pierderile de energie care apar la mersul în gol al mașinii;

Cheltuielile cu salariile și regia sunt date de relația:

$$C_R = C_{DMH} (1 + k_r) \quad (4.21)$$

în care: $C_{DMH} = 2.000$ lei - salariul operatorului direct productiv;

$k_r = 1,5...5$ (150...500%) - coeficient ce ține seama de cheltuielile de regie.

Prin înlocuirea termenilor în relația (4.14), aceasta devine:

$$C_p = C_M t_{aM} + C_M t_b + (C_S + C_M t_{aS}) t_b / T, \quad (4.22)$$

Iar prin substituția durabilității T și a timpului de bază t_b cu expresiile lor, date de relațiile

(4.2), respectiv (4.5), se obține:

$$C_p = C_M t_{aM} + C_M k_n v^{-1} f^{-1} a^{-1} + (C_S + C_M t_{aS}) \frac{k_n}{k_t} v^{\frac{1}{m}-1} f^{\frac{y_v}{m}-1} a^{\frac{x_v}{m}-1}. \quad (4.23)$$

Prețul estimativ al instalației de răcire criogenică (variantea Reșița) este prezentat în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

MS		MA		MP		MR	
Reper	Preț [mii lei]	Reper	Preț [mii lei]	Reper	Preț [mii lei]	Reper	Preț [mii lei]
Căruclor transp.	40	Conductă flexibilă	50	Suport ajutaj	5	Traduc- tor	200
Vas Dewar	2.000	Conductă rigidă	25	Aju- taj	15	Compara - tor	410
Butelie de aer	180	Robinet manual	13	Distribui- tor	10	Regula- tor	570
Filtru de aer	30	Electro- ventil	102	Adap- tor	12	Debit- metru	83
Supapă siguranță	5	Spirale de legăt.	20	Diuze	8	Mano- metre	22
Total	2.255	Total	210	Total	50	Total	1.285
Total execuție: 3.800 mii lei				Total proiectare: 1.900 mii lei			
TOTAL GENERAL: 5.700 mii lei							

Din condiția de minimizare

$$\frac{\partial C_p}{\partial v} = 0; \quad \frac{\partial C_p}{\partial f} = 0; \quad \frac{\partial C_p}{\partial a} = 0; \quad \text{s.c.l.} \quad (4.24)$$

ecuația costului minim de prelucrare, în raport cu viteza, va fi:

$$0 + (-1)k_n v^{-2} f^{-1} a^{-1} C_M + \left(\frac{1}{m} - 1\right) \frac{k_n v^{\frac{1}{m} - 2} f^{\frac{y_v}{m} - 1} a^{\frac{x_v}{m} - 1}}{k_t} (C_S + C_M t_{as}) = 0, \quad (4.25)$$

Iar după efectuarea calculelor [24], se obține relația finală:

$$k_t v^{-\frac{1}{m} - \frac{y_v}{m} - \frac{x_v}{m}} = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \cdot \left(t_{as} + \frac{C_S}{C_M}\right). \quad (4.26)$$

Analog, se obțin și ecuațiile costului minim de prelucrare în raport cu avansul:

$$k_t v^{-\frac{1}{m} - \frac{y_v}{m} - \frac{x_v}{m}} = \left(\frac{y_v}{m} - 1\right) \cdot \left(t_{as} + \frac{C_S}{C_M}\right), \quad (4.27)$$

și respectiv cu adâncimea de așchiere:

$$k_t v^{-\frac{1}{m} - \frac{y_v}{m} - \frac{x_v}{m}} = \left(\frac{x_v}{m} - 1\right) \cdot \left(t_{as} + \frac{C_S}{C_M}\right). \quad (4.28)$$

Dependența f - v , fără restricții, pentru costul minim de prelucrare, este dată în fig.4.5.

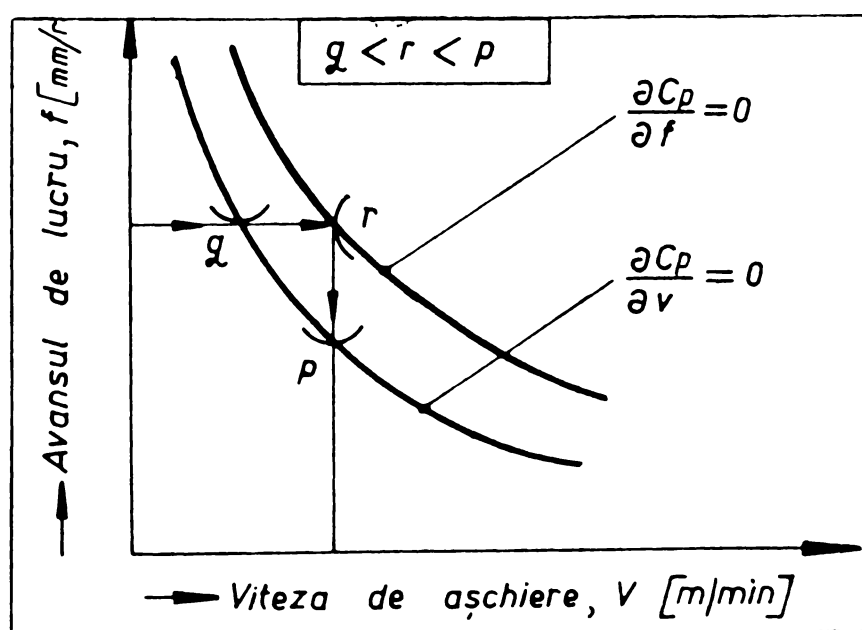


Fig.4.5. Dependența f - v , fără restricții, pentru costul minim de prelucrare.

Modul de amplasare al graficelor este similar cu cel de la timpul minim de prelucrare, doar că panta curbelor este mai puțin accentuată.

4.3.3. Optimizarea după criteriul profitului maxim realizat

Profitul realizat, pe unitatea de timp, la o operație în cursul căreia s-a detașat un anumit volum de așchii (V_s), poate fi exprimat prin relația [27], [32], [35]:

$$P_r = \frac{M_p - C_p}{t_p} \text{ [lei/min. operație] ,} \quad (4.29)$$

în care: M_p - manopera de prelucrare la operația respectivă [lei/operație];
 C_p - costul de prelucrare al operației [lei/operație];
 t_p - timpul de prelucrare.

Înlocuind expresia timpului de prelucrare (relația (4.9)) și a costului (relația (4.22)), în relația (4.29), aceasta devine:

$$P_r = \frac{M_p - C_M(t_{aM} + t_b + t_{aS} \frac{t_b}{T}) - C_S \frac{t_b}{T}}{t_{aM} + t_b + t_{aS} \frac{t_b}{T}} , \quad (4.30)$$

iar după simplificare se obține, în final:

$$P_r = \frac{M_p - C_{SP}}{t_p} - C_M , \quad (4.31)$$

în care: $C_{SP} = C_S (tb/T)$ - cheltuieli legate de amortizarea cuțitului și a plăcuțelor așchietoare ce revin la o operație.

Pentru a obține un profit maxim, trebuie îndeplinite condițiile următoare:

$$\frac{\partial P_r}{\partial v} = 0 ; \quad \frac{\partial P_r}{\partial f} = 0 ; \quad \frac{\partial P_r}{\partial a} = 0 ; \quad \text{\textcircled{S}.c.l.} \quad (4.32)$$

iar prin derivarea funcției compuse a profitului în raport cu viteza, se obține:

$$\frac{\partial(M_p - C_{SP}) \cdot t_p - (M_p - C_{SP}) \cdot \partial t_p}{t_p^2} - 0 = 0 , \quad (4.33)$$

respectiv:

$$-t_p \circ C_{SP} - (M_p - C_{SP}) \partial t_p = 0. \quad (4.34)$$

După efectuarea calculului și simplificărilor similare cu cele de la criteriile precedente, se obțin ecuațiile profitului maxim în raport cu:

■ viteza de așchiere:

$$k_t v^{-\frac{1}{m_f} - \frac{y_v}{m_a} - \frac{x_v}{m}} = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \left[t_{as} + \left(t_{am} + \frac{t_b}{1-m} \right) \frac{C_s}{M_p} \right], \quad (4.35)$$

■ avansul de rotație:

$$k_t v^{-\frac{1}{m_f} - \frac{y_v}{m_a} - \frac{x_v}{m}} = \left(\frac{y_v}{m} - 1\right) \left[t_{as} + \left(t_{am} + \frac{t_b}{1-m} \right) \frac{C_s}{M_p} \right], \quad (4.36)$$

■ adâncimea de așchiere:

$$k_t v^{-\frac{1}{m_f} - \frac{y_v}{m_a} - \frac{x_v}{m}} = \left(\frac{x_v}{m} - 1\right) \left[t_{as} + \left(t_{am} + \frac{t_b}{1-m} \right) \frac{C_s}{M_p} \right], \quad (4.37)$$

Dependența $f-v$, fără restricții, pentru profitul maxim realizat, este dată în fig. 4.6.

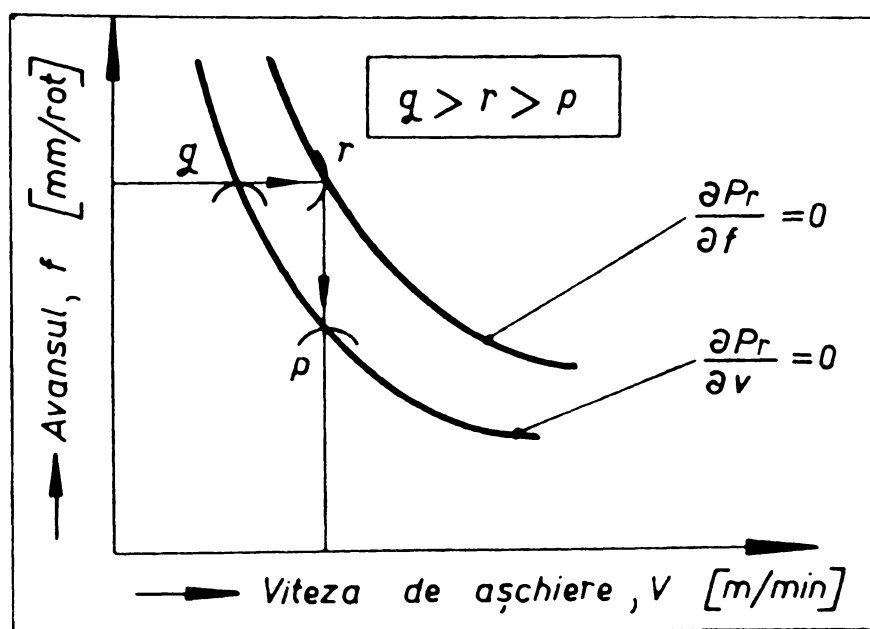


Fig.4.6. Dependența $f-v$, fără restricții, pentru profitul maxim realizat.

Și în acest caz, deoarece valorile exponenților diferă, ecuațiile (4.35), (4.36) și (4.37) nu pot fi valabile concomitent, și deci nu există un maxim unic al profitului realizat. Axa profitului este perpendiculară pe planul f-v, iar valorile acestuia în punctele q, r și p sunt în relația $q > r > p$. Se poate constata că factorii care reduc costul și timpul de prelucrare măresc profitul pe operație în unitatea de timp.

4.3.4. Analiza comparativă a criteriilor de optimizare capacitate-cost-profit

Din studiul ecuațiilor de extrem ale celor trei criterii de optimizare, în raport cu viteza de așchiere, care sunt următoarele:

- timpul de prelucrare (relația (4.12)):

$$k_t v^{-\frac{1}{m}} f^{-\frac{y_v}{m}} a^{-\frac{x_v}{m}} = \left(\frac{1}{m} - 1\right) t_{as} ,$$

- costul minim de prelucrare (relația (4.26)):

$$k_t v^{-\frac{1}{m}} f^{-\frac{y_v}{m}} a^{-\frac{x_v}{m}} = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \left(t_{as} + \frac{C_s}{C_M}\right) ,$$

- profitul maxim realizat (relația (4.35)):

$$k_t v^{-\frac{1}{m}} f^{-\frac{y_v}{m}} a^{-\frac{x_v}{m}} = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \left[t_{as} + \left(t_{aM} + \frac{t_b}{1-m}\right) \frac{C_s}{M_p}\right] ,$$

se poate determina dispunerea relativă a curbelor ce dau valorile optime ale parametrilor regimului de așchiere. Diagrama de analiză comparativă a ecuațiilor de optimizare este redată în fig.4.7; din aceasta se constată:

1. Datorită termenilor „în plus“, curbele costului minim și profitului maxim sunt dispuse sub curba timpului minim de prelucrare.

2. Este posibilă **intersecția** curbelor costului minim și profitului maxim, dacă termenii „în plus“ sunt egali:

$$\frac{C_s}{C_M} = \left(t_{aM} + \frac{t_b}{1-m}\right) \frac{C_s}{M_p} , \quad (4.38)$$

relație din care se poate obține valoarea manoperei pentru care profitul este nul:

$$M_{p_0} = C_M \left(t_{aM} + \frac{t_b}{1-m} \right) \quad (4.39)$$

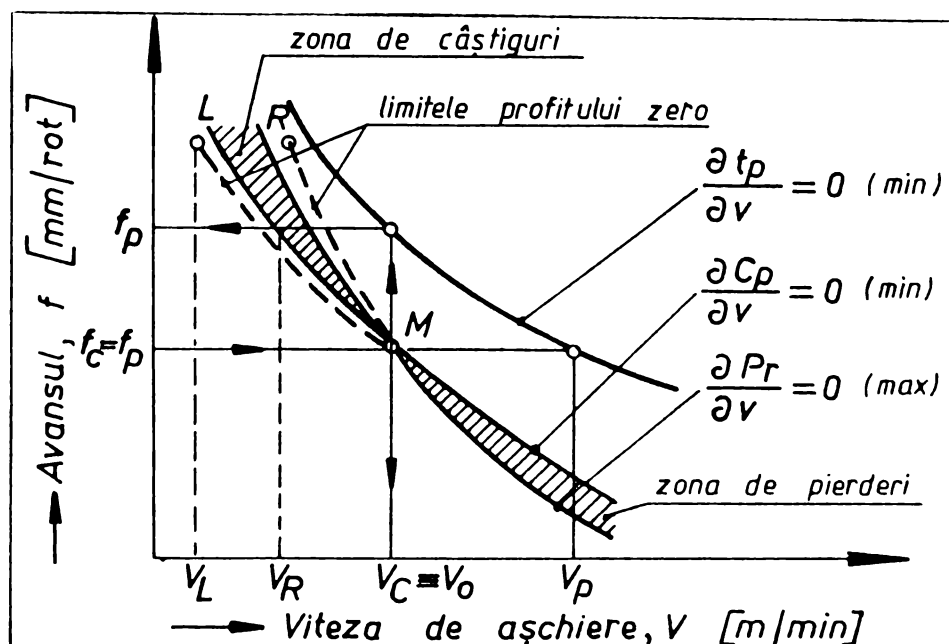


Fig.4.7. Diagrama de analiză a ecuațiilor de optimizare.

3. Poziția reciprocă a celor două curbe (a costului și a profitului) este dată de „abaterea“ valorii reale față de valoarea de profit nul a manoperei de prelucrare.

4. Dacă $M_p > M_{p_0}$, atunci curba costului minim de prelucrare se află la stânga curbei profitului maxim, și se lucrează în câștig.

5. Dacă $M_p < M_{p_0}$, atunci curba costului minim de prelucrare se află la dreapta curbei profitului maxim, și se lucrează în pierdere.

Aceeași interpretare rezultă și din diagrama de analiză a funcțiilor de optimizare, prezentată în fig.4.8. La o anumită variație a costului de prelucrare și respectiv a timpului de prelucrare, valorile parametrilor regimurilor de așchiere pentru care se lucrează în câștig se află între punctele L (stânga) și R (dreapta), obținute la intersecția curbei de variație a costului de prelucrare cu dreapta manoperei efective de prelucrare.

6. Ecuația timpului minim de prelucrare (capacitate maximă de producție) este cea mai simplă, și nu sunt necesare informații despre cost și despre manoperă.

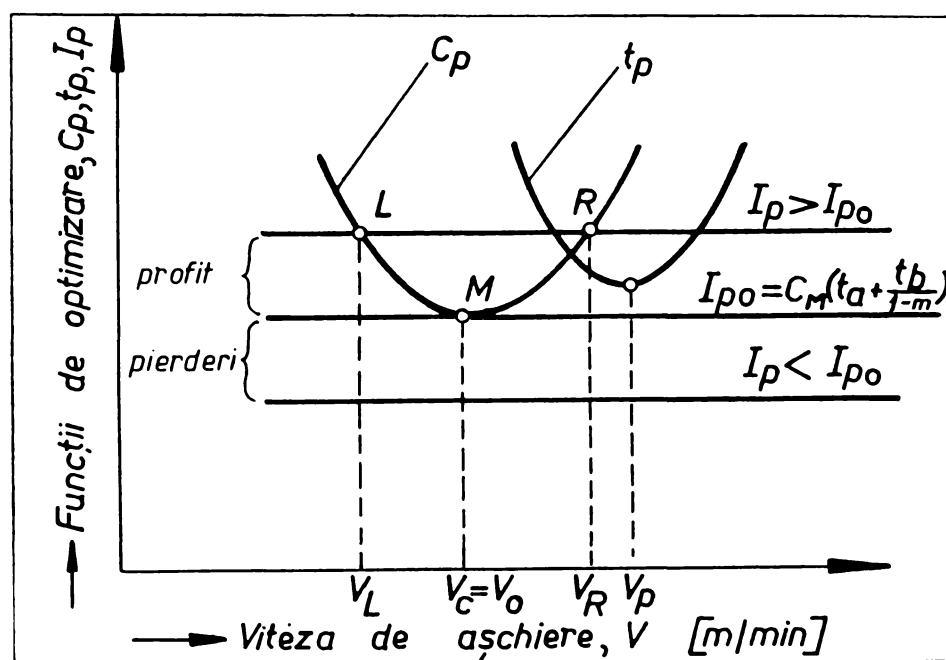


Fig.4.9. Diagrama de analiză a funcțiilor de optimizare.

7. Ecuația **costului minim de prelucrare** impune cunoașterea atât a costului unui minut de prelucrare pe mașină (C_M), cât și a costului ce revine pe un tăiș-plăcuță așchietoare (C_s).

8. Ecuația **profitului maxim realizat** este cea mai cuprinzătoare, dar și cea mai complicată, fiind necesară cunoașterea datelor privind timpul auxiliar necesar pentru înlocuirea plăcuțelor așchietoare uzate (t_{as}), a timpului de bază (t_b), a costului ce revine pe un tăiș-plăcuță așchietoare (C_s) și a manoperei de prelucrare (M_p).

9. În cazul **mașinilor unelte cu reglarea în trepte** a turației și a avansului, diferențele între valorile parametrilor regimurilor de așchiere, determinate pe baza celor trei criterii, sunt **nesemnificative**, de aceea, cel mai convenabil pentru practica optimizării este **criteriul timpului minim de prelucrare** (capacitate maximă de producție).

10. La **mașinile unelte cu reglare continuă** a turației și a avansului, sunt situații când condițiile pentru cost minim pot conduce la o capacitate scăzută (cu cel puțin 5% față de valoarea maximă), iar cele pentru capacitate ridicată pot duce la o mărire a costului de prelucrare (peste 10% față de valoarea minimă). În acest caz, din gama de valori ale regimului se aleg acelea care duc la o **rată minimă a costului**, dată de raportul

$$r_c = C_p / t_p \quad (4.40)$$

4.4. Restricțiile funcției obiectiv

Pentru ca soluția optimă să fie acceptabilă din punct de vedere tehnic, modelul de optimizare trebuie să cuprindă - pe lângă funcția obiectiv - și restricțiile impuse de condițiile concrete în care se desfășoară prelucrarea prin strunjire criogenică, cum sunt:

1. restricții impuse de valorile limită admisibile ale parametrilor cinematici;
2. restricții impuse de valorile maxime admisibile ale parametrilor dinamici;
3. restricții impuse de calitatea suprafeței prelucrate;
4. restricții impuse de consumul de azot lichid, la răcirea criogenică.

4.4.1. Restricții impuse de valorile limită admisibile ale parametrilor cinematici

Restricțiile de natură cinematică impun valorile minimă și respectiv maximă ale parametrilor regimului de așchiere, prin inegalitățile:

$$\begin{aligned} a_{\min} &\leq a \leq a_{\max} \\ f_{\min} &\leq f \leq f_{\max} \\ r_{\min} &\leq a / f \leq r_{\max} \\ v_{\min} &\leq v \leq v_{\max} \end{aligned} \quad (4.41)$$

Adâncimea minimă de așchiere $a_{\min} = 0,3 \text{ mm}$ este valoarea sub care se produce tasarea materialului. Adâncimea maximă de așchiere este dată de relația lungimii admisibile de contact dintre tăișul plăcuței și suprafața piesei (fig.4.9):

$$a_{\max} = k_a l_0 \sin k_{re} , \quad (4.42)$$

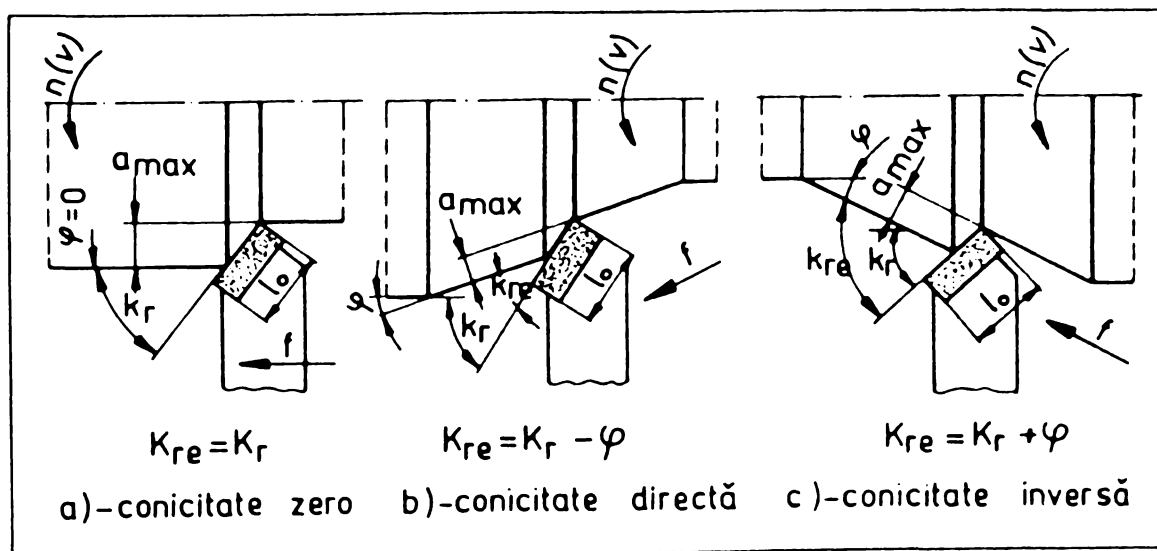


Fig.4.9. Modelul de calcul al adâncimii maxime de așchiere.

în care: $k_a = (1/4...2/3)$ - coeficient în funcție de forma și tipul plăcuțelor așchietoare;
 l_0 - latura plăcuței [mm];
 $k_{r\theta}$ - unghiul de atac efectiv.

Avansul minim $f_{min} = 0,05$ mm/rot. este valoarea sub care influența azotului lichid asupra calității suprafeței prelucrate este negativ. Avansul maxim f_{max} s-a stabilit conform [86] - din condițiile necesare pentru asigurarea unui volum maxim de așchii:

- $f_{max} = 0,4$ mm/rot. - la strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid;
- $f_{max} = 0,8$ mm/rot. - la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice.

Forma și modul de detașare a așchiilor impun - cum s-a arătat și în § 3.2 - o nouă restricție, prin raportul a / f , care trebuie să fie între limitele $4 \leq a / f \leq 25$.

Diagrama restricțiilor de adâncime și de avans este prezentată în fig.4.10.

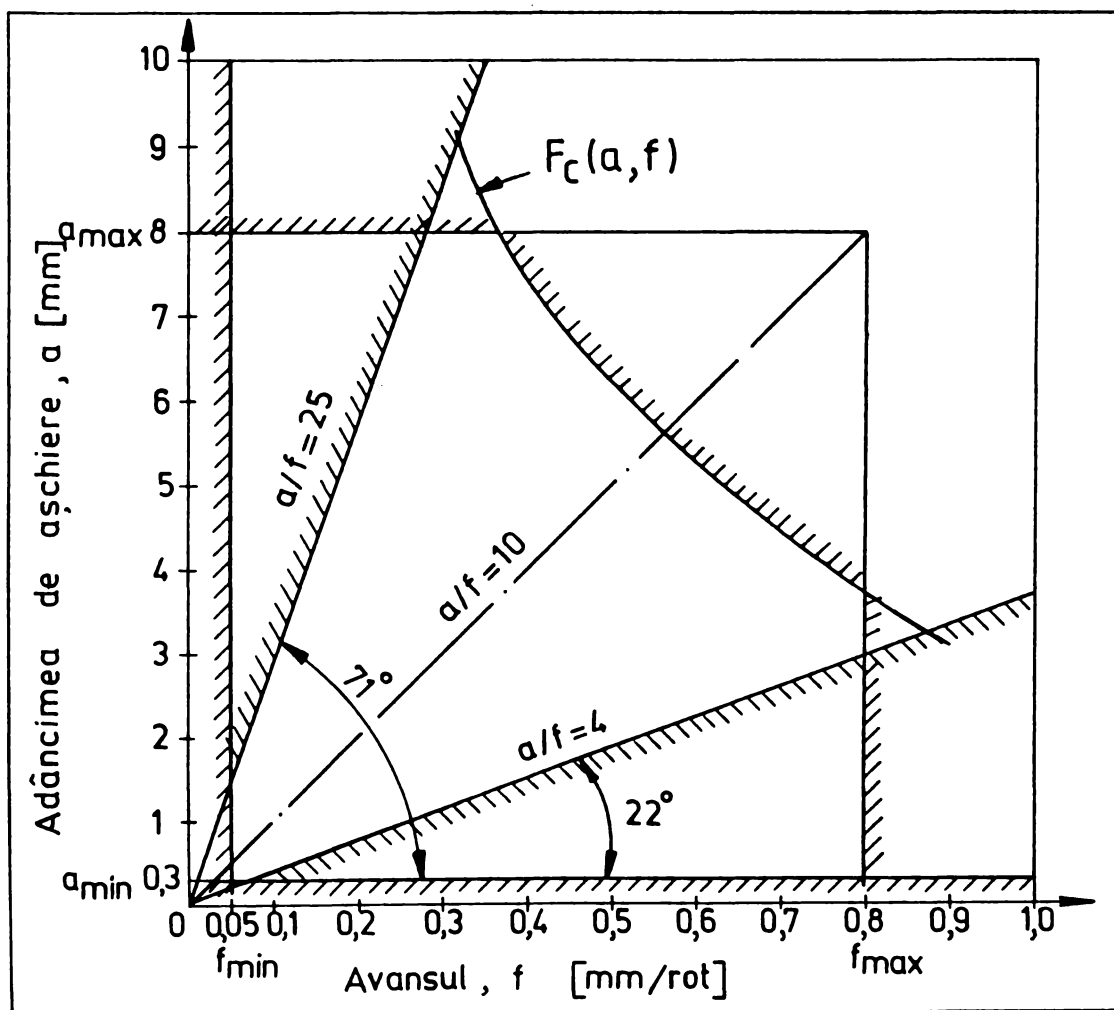


Fig.4.10. Diagrama restricțiilor de adâncime și de avans.

Valorile limită de viteză delimitează domeniul de valabilitate al relației lui Taylor (fig.4.11 și 4.12):

- pentru strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid Rp3:

$$v_{\min} = 10 \text{ m/min.}$$

$v_{\max} = 40 \text{ m/min.}$ - la răcirea cu emulsie; $v_{\max} = 50 \text{ m/min.}$ - la răcirea cu azot.

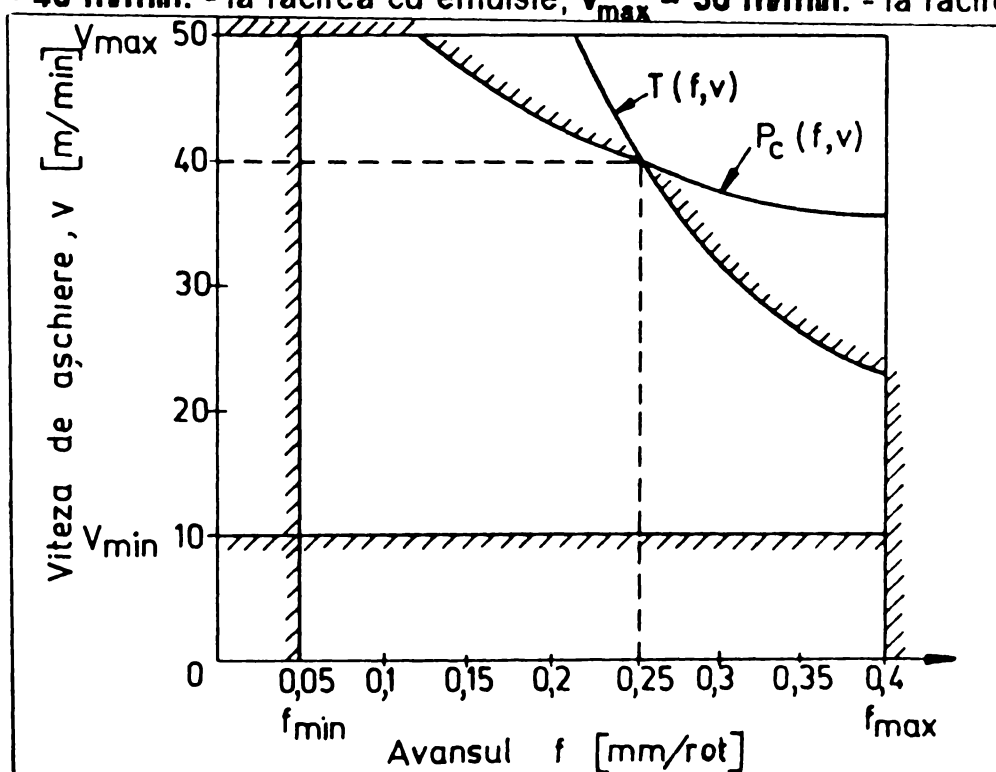


Fig.4.11. Diagrama restricțiilor de viteză-avans, la strunjirea cu plăcuțe din oțel rapid.

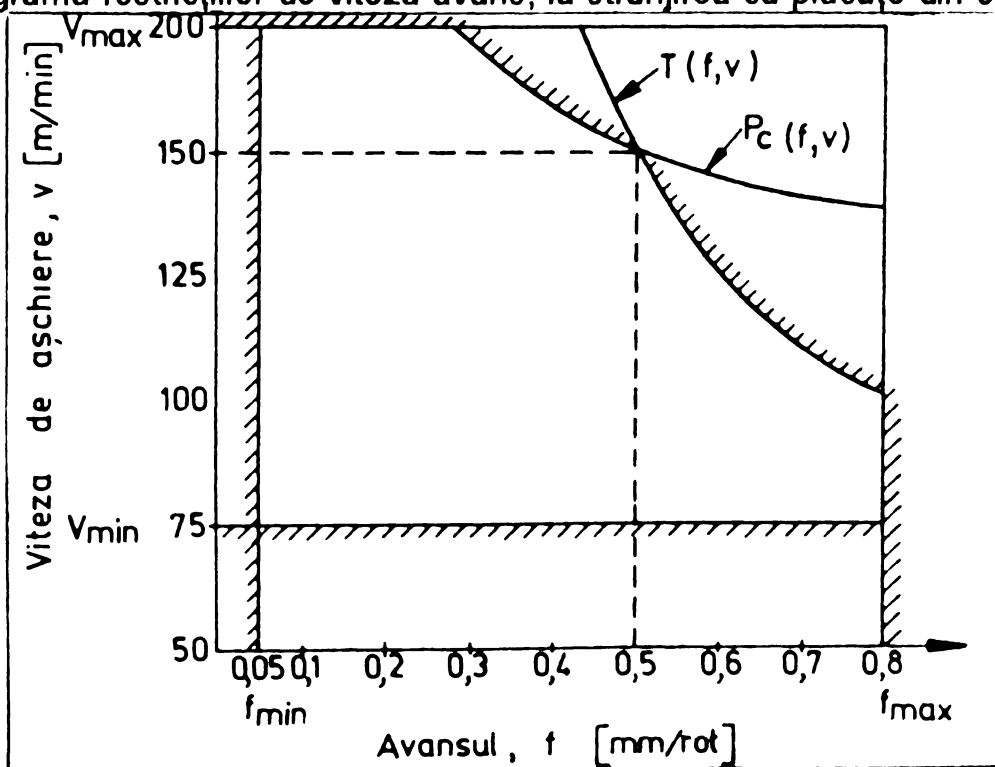


Fig.4.12. Diagrama restricțiilor de viteză-avans, la strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice

■ pentru strunjirea cu plăcuțe din carburi metalice P30 și P10:

$v_{\min} = 50 \text{ m/min.}$ - la strunjirea fără răcire; $v_{\min} = 75 \text{ m/min.}$ - la răcirea cu azot.

$v_{\max} = 200 \text{ m/min.}$ - pentru ambele moduri de prelucrare.

Pentru găsirea valorilor optime s-a ținut seama și de faptul că reglarea turațiilor și a avansurilor se realizează în trepte.

4.4.2. Restricțiile impuse de valorile maxime admisibile ale parametrilor dinamici

Pe lângă restricțiile de natură cinematică, prin care se stabilesc valorile limită ale parametrilor regimului de așchiere, se mai impun și restricții privind valorile maxime admisibile ale parametrilor dinamici: forță, moment și putere.

Restricția impusă de către **forța maximă admisă** este dată de stabilitatea elastică a cuplului piesă-sculă, și se exprimă prin următoarele relații:

$$F_c = k_{c1} a f^{1-m_c} \sin^{-m_c} k_r \leq F_{c \text{ adm}}, \quad (4.43)$$

respectiv:

$$a f^{1-m_c} \leq k_s, \quad (4.44)$$

în care valoarea **constantel de stabilitate** (k_s) se calculează cu relația

$$k_s = \frac{F_{c \text{ adm}}}{k_{c1} \sin^{-m_c} k_r}. \quad (4.45)$$

Prin înlocuirea forței de așchiere maximă admisă [54] - dată de relația

$$F_{c \text{ adm}} = \frac{k_y \pi E D}{1,2 \cdot 64 \cdot k_d^3} \cdot y_{\max}, \quad (4.46)$$

în relația (4.45), se obține în final:

$$k_s = \frac{k_y \pi E D \cdot y_{\max}}{1,5 \cdot 64 \cdot k_d^3 \cdot k_{c1} \cdot \sin^{-m_c} k_r}. \quad (4.47)$$

Valorile săgeții admisibile (y_{\max}) și ale constantelor sunt date în tabelul 4.2.

Coeficientul 1,5 înglobează atât valoarea coeficientului de forță (1,2), cât și creșterea forței, datorată vitezei de așchiere (20%).

Tabelul 4.2

Constanta de rigiditate k_d	$L / D \leq 3$	$3 < L / D \leq 5$	$5 < L / D \leq 10$	$L / D > 10$
	3<	3...5	5...10	>10
Caracteristica de prindere în dispozitiv k_y	U	UV	VV	VVL
	3	102,2	48	66,7
Săgeata admisă y_{max}	netezire	finisare	semifinisare	degroșare
	0,025	0,050	0,100	0,200
Caracteristicile oțelului 10 TINiCr 180	E (MPa)	k_{c1} (MPa) (fără răcire)	k_{c1} (MPa) (răcire cu azot)	m_c
	$2,1 \cdot 10^5$	1.850	1.480	0,27

Restricția impusă de **momentul maxim admis** este dată de relația:

$$M_c = \frac{F_c \cdot D}{2.000} = \frac{k_{c1} a f^{1-m_c} \sin^{-m_c} k_r \cdot D}{2.000} \leq M_{c \text{ adm}} , \quad (4.48)$$

sau de relația

$$a f^{1-m_c} \leq k_m , \quad (4.49)$$

În care valoarea **constantelor de moment (k_m)** se calculează cu relația

$$k_m = \frac{2.000 M_{c \text{ adm}}}{k_{c1} \sin^{-m_c} k_r} . \quad (4.50)$$

Restricția impusă de **puterea maximă admisă** este dată de relația

$$P_c = \frac{F_c \cdot v}{60 \cdot 10^3} = \frac{k_{c1} a f^{1-m_c} \sin^{-m_c} k_r \cdot v}{60 \cdot 10^3} \leq P_{c \text{ adm}} \cdot \eta_{MU} . \quad (4.51)$$

respectiv de relația

$$v \cdot a \cdot f^{1-m_c} \leq k_p, \quad (4.52)$$

în care valoarea constantel de putere (k_p) se calculează cu relația:

$$k_p = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot P_{c \text{ adm}} \cdot \eta_{MU}}{k_{c1} \cdot \sin^{-m_c} k_r} \quad (4.53)$$

Valorile admisibile ale puterii și momentului sunt date în diagrama din fig.4.13, în funcție de viteza de rotație a motorului electric de acționare, pe întreg domeniul de turații de lucru.

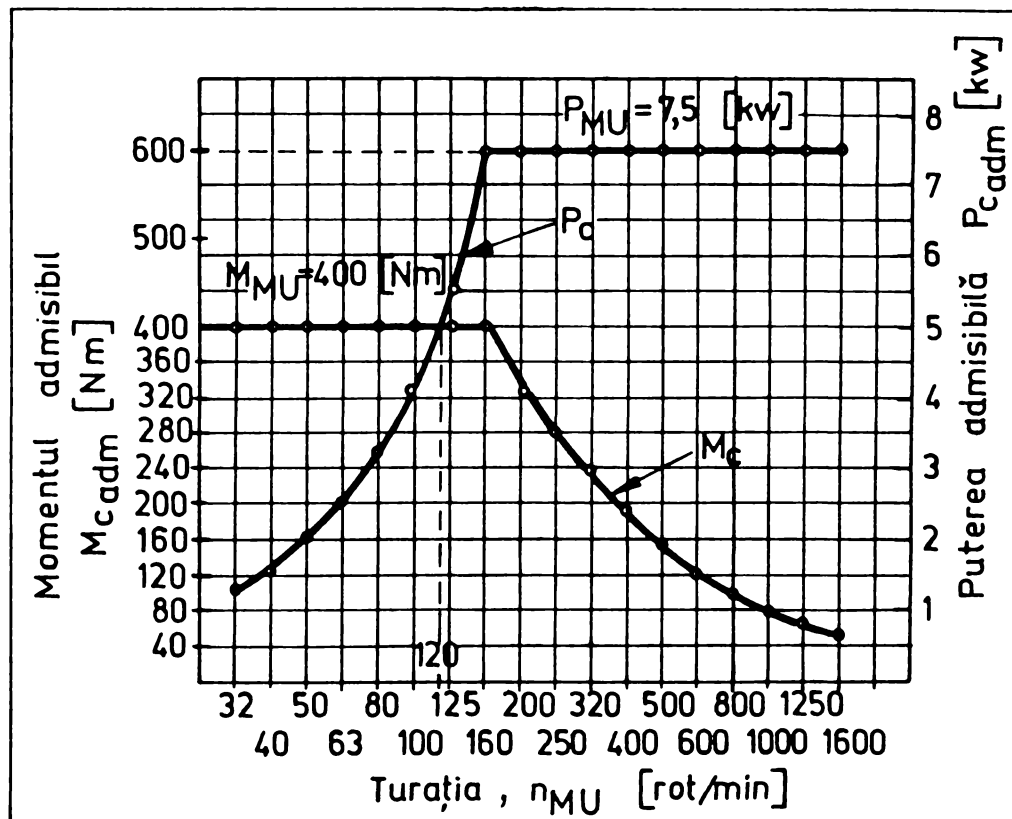


Fig.4.13. Diagrama valorilor admisibile ale puterii și momentului.

4.4.3. Restricții impuse de calitatea suprafețel prelucrate

La prelucrările de finisare se impun și restricții privind calitatea suprafeței prelucrate. Prin aceste restricții se limitează valoarea maximă a avansului și chiar - în anumite situații [1], [24], [90] - valoarea minimă a vitezei.

Pentru o rugozitate teoretică dată ($R_{t \text{ adm}}$), în funcție de rugozitatea (R_a) prevăzută pe suprafața ce se va prelucra, relația restrictivă pentru strunjirea criogenică este:

$$R_t = \frac{f^2}{16 \cdot r_0} \cdot 10^3 \leq R_{t \text{ adm}} , \quad (4.54)$$

sau, respectiv: $f^2 \leq k_z$ (4.55)

în care **constanta de rugozitate** (k_z) are valoarea:

$$k_z = \frac{16 \cdot r_0 \cdot R_t}{1.000} . \quad (4.56)$$

4.4.4. Restricțiile impuse de consumul de azot lichid

La prelucrarea prin strunjire în condiții de răcire criogenică, funcționarea normală a instalației de răcire impune o curgere continuă a azotului lichid, atât în cursa de lucru, cât și-n cursa de retragere a cuțitului, ceea ce duce la un consum suplimentar de azot, față de cel necesar pentru prelucrarea propriu-zisă. De aceea, s-a pus condiția restrictivă prin care cantitatea de azot ce se pierde în timpul cursei de retragere - pentru un avans rapid ($v_{fr} = 5$ m/min.) și un număr de treceri efectuate (l) (vezi fig.4.3) - să fie mai mică decât cantitatea de azot consumată în perioada de tranziție. Relația restrictivă este:

$$2 / 3 \cdot Q_{v \text{ med}} t_r \leq 1 / 10 \cdot Q_{v \text{ mln}} t_0 , \quad (4.57)$$

În care: $Q_{v \text{ med}} = 0,33$ l/min. - debitul mediu de azot lichid necesar pentru prelucrare;

$Q_{v \text{ mln}} = 0,10$ l/min. - debitul minim de azot-gaz în perioada de tranziție;

$t_0 = 15$ min. - perioada de tranziție;

$t_r = 1 / 5 L A 10^3$ amin. - timpul de retragere.

Prin înlocuirea valorilor în relația (4.57), se obține:

$$a \geq k_q , \quad (4.58)$$

În care valoarea **constantel de debit** (k_q) este dată de relația:

$$k_q = 0,3 k_l A , \quad (4.59)$$

În care: A - adausul de prelucrare pe rază [mm];

$k_l = L / 1.000$ - coeficient în funcție de lungimea suprafeței de prelucrat, raportată la valoarea de referință de 1 m:

Valoarea maximă a adâncimii de așchiere este dată desigur și de valoarea adausului de prelucrare, prin inegalitatea

$$a < A . \quad (4.60)$$

4.5. Programele de rezolvare a modelelor de optimizare

Pentru rezolvarea modelului matematic la prelucrarea prin strunjire, în condiții de răcire criogenică, s-au realizat programe în AutoLISP și TurboPASCAL, utilizând algoritmul SIMPLEX de programare matematică liniară. Programele au fost concepute pe baza organigramei de optimizare tehnologică asistată de calculator, prezentată în fig.4.15, pentru o funcție obiectiv multicriterială. Aceasta a fost particularizată pentru fiecare criteriu de optimizare (**timp - cost - profit**), apoi atașându-se următoarele funcții restrictive pentru:

- 1) adâncime - $a_{\min} \leq a \leq a_{\max}$;
- 2) raportul $a / f - r_{\min} \leq a / f \leq r_{\max}$;
- 3) avans- $f_{\min} \leq f \leq f_{\max}$;
- 4) viteză- $v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$;
- 5) adaus- $a < A$;
- 6) cons.de azot- $a > k_q$;
- 7) rugozitate- $f^2 < k_z$;
- 8) forță- $a f^{1-mc} < k_s$;
- 9) moment- $a f^{1-mc} < k_m$;
- 10) putere- $v a f^{1-mc} < k_p$.

Pomind de la modelul spațial redat în lucrarea [24], s-au realizat două modele de optimizare pentru strunjirea în condiții de răcire criogenică:

- a) 2D liniar - cu două variabile de decizie (f și v) și relații liniarizate;
- b) 3D liniar - cu trei variabile de decizie (a , f și v) și relații liniarizate.

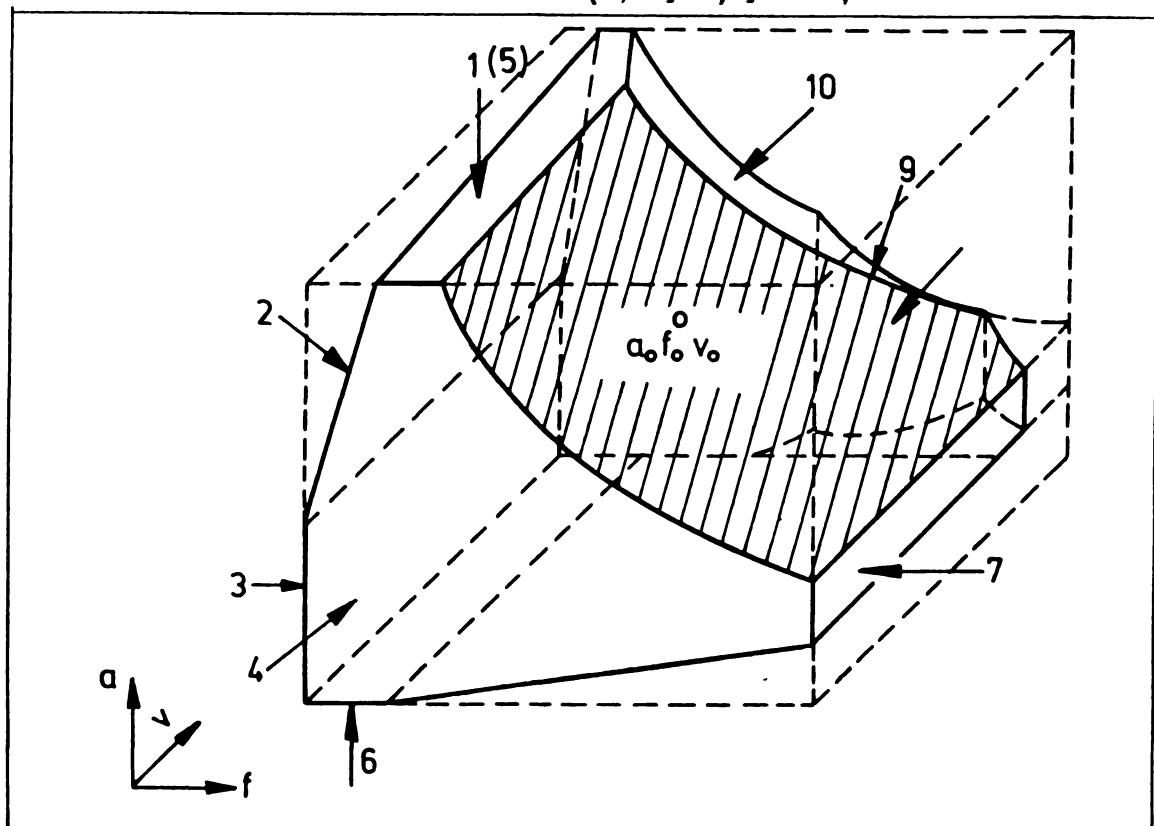


Fig.4.14. Modelul spațial de optimizare.

Programele de optimizare și valorile optime ale parametrilor regimului de strunjire criogenică sunt prezentate în figurile din paginile următoare.

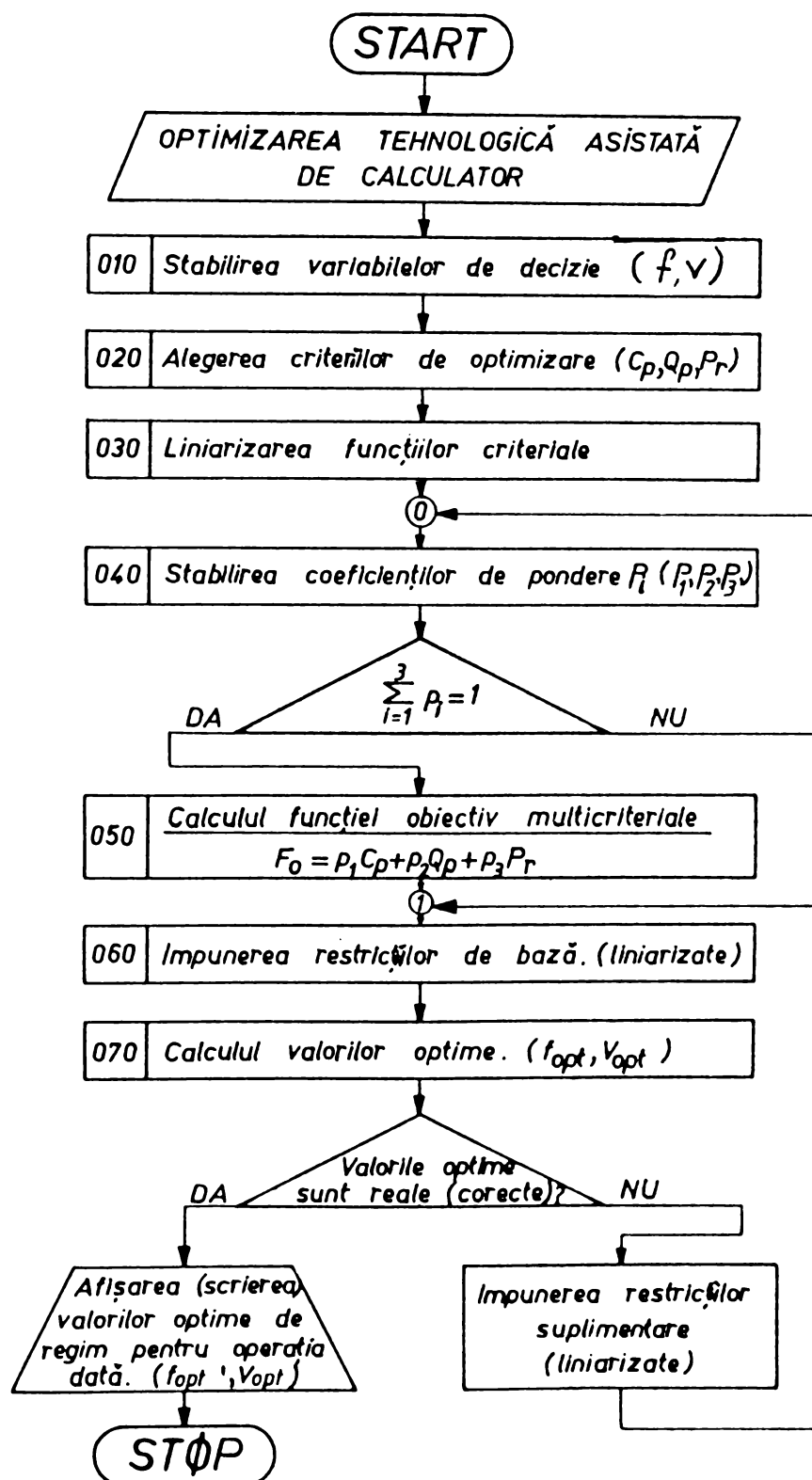


Fig.4.15. Organigrama de optimizare tehnologică asistată de calculator.

Fig.4.16. Programul 2D de optimizare la prelucrarea cu plăcuțe din oțel rapid.

Fig.4.17. Programul 2D de optimizare la prelucrarea cu plăcuțe din carburi metalice.

Fig.4.18. Programul 3D de optimizare la prelucrarea cu plăcuțe din oțel rapid.

Fig.4.19. Programul 3D de optimizare la prelucrarea cu plăcuțe din carburi metalice.

Fig.4.20. Modele de optimizare la prelucrarea prin strunjire criogenică.

CAPITOLUL V

CONCLUZII. CONTRIBUȚII PERSONALE

Teza de doctorat se constituie într-un studiu prin care autorul a urmărit punerea de acord a problematicii teoretice de optimizare a noii tehnologii de prelucrare prin strunjire în condiții de răcire criogenică, cu rezultatele cercetărilor experimentale efectuate.

Din analiza fișelor de rezultate și a programelor de optimizare, se pot evidenția următoarele concluzii și contribuții personale:

1. S-a arătat că **răcirea criogenică** cu azot lichid are un **efect favorabil** asupra prelucrării mecanice prin strunjire numai pentru temperaturi de răcire cuprinse între -25°C și -100°C (§ 3.5.3).

2. S-a proiectat și s-a realizat un **modul de presurizare** a azotului lichid prin care s-a putut evidenția rolul hotărâtor al variantei de răcire adoptate asupra strunjirii criogenice (§ 3.1.5).

3. La strunjirea cu plăcuțe din **oțel rapid** se realizează o **răcire eficientă** prin **curgerea simultană** a azotului lichid atât pe piesă cât și sub plăcuța așchietoare (§ 3.1.5).

4. La strunjirea cu plăcuțe din **carburi metalice**, pentru a nu se provoca **fisurarea** plăcuțelor, este necesar să se răcească **numai piesa**, prin curgerea azotului lichid prin diuza de presurizare (§ 3.1.5).

5. S-a conceput un **adaptor rotativ**, care asigură orientarea diuzei la $15...20^{\circ}$ față de traiectoria mișcării principale, pentru a se realiza o **curgere continuă și sincronă** (fig.2.6).

6. S-a pus în valoare **raportul adâncime-avans** ($4 < a/f < 25$) pentru care - prin răcirea piesei cu azot lichid - **așchile continue** obținute la prelucrarea oțelului inoxidabil austenitic se transformă în **așchii fragmentate**, fapt ce contribuie la îmbunătățirea condițiilor de prelucrare pe **mașini unelte automate** (§ 3.2.3).

7. S-a constatat - prin studiul metalografic efectuat - o **creștere** însemnată a **unghiului de forfecare** la strunjire a oțelului cercetat, de la 24° - la strunjirea normală - la 35° - la cea criogenică (§ 3.2.3).

8. S-a cercetat influența mediului de răcire asupra **forței specifice** de așchiere,

constatându-se că - în condiții de răcire criogenică - aceasta **se reduce** cu un procent constant de **20%** - față de prelucrarea fără răcire, ceea ce duce la o scădere a forței, momentului și puterii de așchiere, și implicit la o **reducere a consumului energetic** (§ 3.3.3).

9. S-au stabilit valoarea **rezistenței specifice de așchiere** a oțelului 10 TiNiCr 180 în cazul strunjirii criogenice, precum și relațiile de calcul corectate ale forței specifice de așchiere (§ 3.3.3).

10. S-a evidențiat **domeniul vitezelor de așchiere** ($25 < v < 125$ m/min.) în care **forța de așchiere** este dependentă de și **crește** cu viteza de așchiere - **până la 20%** (§ 3.3.3).

11. Din experiențele efectuate privind calitatea suprafeței prelucrate, s-a constatat că la strunjirea criogenică **rugozitatea se îmbunătățește** cu cel puțin o **clasă de netezime**, față de strunjirea clasică (§ 3.4.3).

12. S-a evidențiat o **creștere** mai importantă a **microdurității** stratului superficial - în cazul folosirii azotului lichid - dar **grosimea stratului ecruisat rămâne constantă**, indiferent de condițiile de răcire (§ 3.4.3).

13. S-a constatat că la strunjirea în condiții de răcire criogenică **durabilitatea plăcuțelor crește de 1,5...4 ori**, față de strunjirea clasică (§ 3.5.3).

14. A fost adusă o importantă contribuție referitoare la corelația dintre intensitatea uzării și durabilitatea plăcuțelor așchietoare, prin remarcarea faptului că întotdeauna curba de variație a durabilității este **imaginea în oglindă** - la altă scară - a curbei de variație a intensității uzării (§ 3.5.3).

15. Caracteristicile de durabilitate confirmă relația lui Taylor numai pentru valorile uzuale ale vitezelor de așchiere - pe tip de plăcuță, însă există o **gamă de tranziție** (50...75 m/min.) în care această relație numai este respectată, și - în coordonate logaritmice - variația devine neliniară (§ 3.5.3).

16. S-au determinat **constantele** ecuației lui Taylor - pe domeniile de valabilitate - necesare pentru calculul vitezelor de așchiere la strunjirea oțelurilor inoxidabile austenitice, în condiții de răcire criogenică, prin prelucrarea statistică a datelor experimentale (§ 3.5.4).

17. Au fost trasate diagramele de variație presiune-viteză de curgere a azotului lichid, și respectiv debit-diametru diuză, subliniindu-se faptul că - practic - se realizează o curgere continuă și eficientă pentru **diametre** ale orificiului diuzei cuprinse între **1,5 și 3 mm**,

și presiuni de lucru între **1,25 și 3,5 bar** (§ 2.3).

18. S-a arătat că - pentru ca răcirea să fie eficientă - trebuie să existe o **dependență sincronă** între **viteza de curgere** a azotului lichid și **viteza de aşchiere** (§ 2.3).

19. S-a trasat diagrama de bilanț termic pentru răcirea cu azot lichid, evidențiindu-se **debitul volumic** necesar ($Q_{v\ med} = 20\ Voră$) pentru asigurarea unui **grad de răcire** corespunzător (§ 2.3).

20. S-a conceput un model de optimizare specific strunjirii criogenice, în care s-a introdus o **nouă relație**, prin care se asigură **optimizarea numărului de treceri** și a cursei de revenire a cușitului, care **reduce la minim consumul de azot lichid** (§ 4.4.4).

21. S-au realizat, în concepție proprie, **programe de optimizare** în 2D (plan) și 3D (spațial) pentru prelucrarea prin strunjire în condiții de răcire criogenică (§ 4.5).

22. Pentru a evidenția eficiența economică a strunjirii criogenice comparativ cu cea normală, a fost stabilit de către autor un nou criteriu de optimizare - **rata minimă a costului** - pentru care s-au obținut valorile optime ale parametrilor regimului de aşchiere (§ 4.5).

23. Criteriul adoptat permite calcularea **valorilor optime** ale parametrilor regimului de aşchiere, pentru un cost minim de prelucrare, pentru o capacitate ridicată de producție și pentru un profit maxim realizabil (§ 4.5).

24. Aplicarea noii tehnologii, în condițiile de lucru stabilite în prezenta lucrare, duce la o **reducere a manoperei de prelucrare** cu 10%, față de strunjirea clasică (§ 4.5).

25. Din experiența practică acumulată în timpul încercărilor s-a demonstrat că se poate lucra **fără pericol**, dacă se respectă normele privind tehnica securității muncii la strunjirea în condiții de răcire criogenică precizate în § 3.6 din lucrare.

■ ■ ■

BIBLIOGRAFIE

1. Amarego, E., ș.a. The machining of metals, Prentice-Hall, Inc., U.S.A., 1977.
2. Alberti, N. Some observations on metal cutting with reference to the mechanical characteristics of working materials, *Meccanica*, nr.1, Italy 1972.
3. Bedvin, C., ș.a. Les essais d'usure base des calculs d'optimisation, I.N.S.A., France, 1975.
4. Belousov, V., ș.a. Noi concepții de scule armate, cu răcire prin interior. Noutăți în proiectarea, tehnologia și exploatarea sculelor, Brașov, România, 1983.
5. Berce, P. Cercetări cu privire la optimizarea procesului de așchiere strunjire, din punct de vedere dinamic și energetic. Teză de doctorat, Cluj-Napoca, România, 1981.
6. Bhattacharya, D., ș.a. Machin ability study of the free cutting steel, *Indian J. Technology*, nr.4, 1974.
7. Black, T. Flow stress modul in metal cutting. *Journal of engeneering for industry*, nr.101, U.S.A., 1979.
8. Chatteau, J., ș.a. L'usinabilité des aciers inoxydables, *Machine outil* nr.311 și nr.312, France, 1974.
9. Cherebețlu, T., ș.a. Instalație experimentală pentru studiul așchierii metalelor la temperaturi joase și foarte joase. A IV-a conferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, vol.1, Timișoara, România, 1981.
10. Ciocârdia, C., ș.a. Bazele cercetării experimentale în tehnologia construcțiilor de mașini, E.D.P., București, România, 1979.
11. Couffin, P., ș.a. Conception assisté par ordinateur en mécanique, I.U.T.Paris, France, 1990.
12. Delaney, R. Sub-zero machining and quenching, *American machinist*, U.S.A., 1975.
13. Enache, Ș., ș.a. Proiectarea asistată a sculelor așchietoare, Ed. Tehnică, București, Romania, 1983.
14. Filonenko, S. Rezanie metalov, Izdatelsvo „Tehnika”, Kiev, Ucraina, 1975.
15. Gally, M. Les effects thermique associé á la coupe des métaux. Le mesure des temperatures de coupe, *Machine-outils*, nr.279-280, France, 1971.
16. Hudobin, L., ș.a. Tehnica folosirii mediului de răcire în prelucrarea mecanică prin așchiere a metalelor, *Mașinostroenie*, Moscova, Rusia, 1977.
17. Iancău, H., ș.a. Considerațiuni asupra așchierii metalelor la temperaturi joase și foarte joase. A IV-a coferință de procese și utilaje la rece, vol.1, Timișoara, România, 1981.
18. Iancău, H., ș.a. Considerațiuni asupra deformației stratului de material așchiat în condiții de răcire adâncă. Mașini și tehnologii de prelucrare la rece cu înaltă productivitate, Cluj-Napoca, România, 1981
19. Itu, T. Contribuții în legătură cu așchibilitatea oțelurilor inoxidabile austenitice. Teză de doctorat (rezumat), Cluj-Napoca, România, 1979.
20. Itu, T., ș.a. Noi aspecte privind așchirea unor oțeluri inoxidabile austenitice. A IV-a coferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, Timișoara, România, 1989.
21. Ivan, N. Cosiderații privind proiectarea tehnologică asistată de calculator. *Construcții de mașini*, nr.5-6, București, România, 1994.
22. Iwato, K. The efect of lead on crack behavior of leaded free machining steel during controlled cutting temperature micro-machining in procedings. Fourth worth American metalworking. Research conference, U S A .

- 1976.
23. Jones, H. Aportable self-containing refrigerants transfer system for use with super-conductive magnet dewors. Cryogenic, U.S.A., 1979.
24. Jacobs, G., ș.a. Spannungsoptimierung, Veb Verlag Technik Berlin, 1981.
25. Kerekes, L., ș.a. Studiul performanțelor tehnologice ale lichidului de aşchiere sintetic Lusag-550, A II-a conferință științifică internațională „Mașini și tehnologii moderne”, Cugir, România, 1993.
26. Kolding, B. Machining Economics and Industrial Data Manual. Anals of the C.I.R.P., vol. XVII, Great Britain, 1970.
27. Kotler, P. Marketing-Management, Prentice Hall, New Jersey, U.S.A., 1983.
28. Kronenberg, M. Replacing the Taylor Formula by a new Tool Life Equation, Journal of Engineering for Industrie, no. 10, pag. 70.
29. Kumagai, S., ș.a. Characteristics of Tool Wear in Cryogenic Machining, In Annals of the C.I.R.P., Great Britain, 1970.
30. Lefevre, J., ș.a. L'usinabilité des aciers inoxydables. Aciers spéciaux, nr. 27, France, 1974.
31. Lungu, I. Capacitatea și costul sculelor aşchietoare, Analele U.„E.M.” Reșița, 1994.
32. Maynard, M. Manual de inginerie Industrială, vol.1 și vol.2, Editura Tehnică, București, România, 1976.
33. McCarty, J.W. Study quide for use Basic Marketing, Irwin, Boston, U.S.A., 1993.
34. Micșa, I. Tehnologia construcției de mașini, vol.1, Curs, Litografia U.T. Timișoara, România, 1981.
35. Micșa, I. Tehnologia construcției de mașini, vol.2, Curs, Litografia U.T. Timișoara, România, 1985.
36. Militaru, C. Fiabilitatea și precizia în tehnologia construcțiilor de mașini, Editura Tehnică, București, România, 1987.
37. Militaru, C. Așchiera metalelor și fiabilitatea sculelor aşchietoare, Editura Tehnică, București, România, 1983.
38. Mitelea, I., ș.a. Fenomene de durificare la aşchiera în condiții criogenice a oțelurilor inoxidabile austenitice, A VI-a conferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, vol.1, Timișoara, România, 1989.
39. Nanu, A., ș.a. Cercetări privind influența materialului prelucrat asupra calității suprafeței la strunjirea de finisare, în Studii și cercetări de mecanică aplicată, nr. 5, București, România, 1973.
40. Nica, M., ș.a. Prelucrarea prin eroziune în construcția de mașini, Editura Facla, Timișoara, România, 1983.
41. Nicolae, P., ș.a. Posibilități de creștere a durabilității sculelor aşchietoare realizate din carburi metalice sinterizate, Construcția de mașini, nr.3, București, România, 1993.
42. Norbert, M., ș.a. Technologie de construction mecanique, vol.1, La Capitelte S.A., Paris, France, 1985.
43. Norbert, M., ș.a. Technologie de construction mecanique, vol.2, La Capitelte S.A., Paris, France, 1991.
44. Okushima, K., ș.a. Effect of microstructure on cutting mechanism, tool life and surface finish, In A study of Machinability of Metals, Tokyo, Japonia, 1983.
45. Oplitz, H., ș.a. Über die Ermittlung von Schnittkräften und das statische und dynamische Verhalten von Verzahnmaschine, F.L.N., Westfalen, Germania, 1986.
46. Petriceanu, G., ș.a. Contribuții la stabilirea unor noi metode pentru mărirea durabilității sculelor, A VI-a conferință republicană, Proiectarea, tehnologia și exploatarea sculelor aşchietoare, vol. I, Brașov, România, 1981.
47. Petriceanu, G., ș.a. Considerații asupra problemelor specifice aşchierii în condiții criogenice, Sesiunea de comunicări științifice, vol.1, Aiud, România, 1982.
48. Picoș, C., ș.a. Prelucrabilitatea prin aşchiere a aliajelor feroase, Ed. Tehnică, București, România, 1981.

49. Picoș, C., ș.a. Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin așchiere, vol. I și II, Ed. Universitas, Chișinău, România, 1992.
50. Platon, V. Sisteme avansate de producție, Ed. Tehnică, București, România, 1990.
51. Poduraiev, V. Procese de așchiere automatizate, Mașinostroenia, Moskva, Rusia, 1977.
52. Pop, I. Proiectarea sculelor așchietoare, Curs, Litografia U.T.Timișoara, 1992.
53. Popescu, A., ș.a. AutoCAD, Ed. Teora, București, România, 1993.
54. Popescu, I. Optimizarea procesului de așchiere, Ed. Scrisul românesc, Craiova, România, 1987.
55. Popovici, G. Stadiul actual al cercetărilor privind așchiera criogenică, Referat nr. 1, Catedra T.C.M., Facultatea de Mecanică, U.T. Timișoara, România, 1994.
56. Popovici, G. Instalații tehnologice pentru așchiera criogenică, Referat nr. 2, Catedra T.C.M., Facultatea de Mecanică, U.T. Timișoara, România, 1994.
57. Popovici, G. Optimizarea tehnologiei de așchiere criogenică, Referat nr. 3, Catedra T.C.M., Facultatea de Mecanică, U.T. Timișoara, România, 1994.
58. Popovici, G. Unele aspecte ale crioașchiabilității oțelului inoxidabil austenitic DT0 180, în Creativitate și fiabilitate în construcția de mașini, vol. I, Iași, România, 1985.
59. Popovici, G. Găurirea în medii criogenice a oțelurilor inoxidabile austenitice, A V-a conferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, vol. I, Timișoara, România, 20 -21 nov. 1986.
60. Popovici, G. Experimentale untersuhungen beim kriogenischen bohren von rostfreien austenitischen stähle 10 TiNiCr 180 , A V-a conferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, vol. I, Timișoara, România, 20-21 nov. 1986.
61. Popovici, G. Forța specifică de așchiere și rugozitatea suprafeței la găurirea criogenică a oțelurilor inoxidabile austenitice, A VI-a conferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, vol. I, Timișoara, România, 5-6 mai 1989.
62. Popovici, G. Forța specifică de așchiere și rugozitatea suprafeței la strunjirea criogenică a oțelurilor inoxidabile austenitice, A VI-a conferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, vol. I, Timișoara, România, 5-6 mai 1989.
63. Popovici, G. The feed force and surface roughness at cryogenic drilling of austenitic stainless steels, In International Conference on innovative metal cutting processes and materials, Torino, Italia, 1991.
64. Popovici, G. The cutting forces and surface roughness at cryogenic turning of austenitic stainless steels, In Berg-und Hüttenmännische Monatshefte, Loeben, Austria, 1994.
65. Sima, V. Practica optimizării asistate de calculator, Ed. Tehnică, București, România, 1986.
66. Sobolev, N., ș.a. Folosirea bioxidului de carbon la strunjirea oțelurilor cu prelucrabilitate redusă, Mașini unelte și scule, nr. 3, București, România, 1960.
67. Steck, E. Constitutive for strain-strainrate and temperature sensitive metals, In Advanced Technology of Plasticity, vol. I, Stuttgart, Germania, 1987.
68. Stevenson, W. J. Study Guide for use with Introduction to Management Science, Irwin. Boston, U.S.A., 1990.
69. Takeyama, H. Optimierende Steuerung bei Drehbearbeitungen. Werkstatt und Betrieb 103 (1970), Germania, 1970.
70. Tăpălagă, I., ș.a. Cercetări și rezultate experimentale asupra optimizării sculelor la așchiera criogenică, A V-a conferință de Procese și utilaje de prelucrare la rece, vol. III, Timișoara, România, 1986.
71. Tăpălagă, I., ș.a. Criogenia în construcția de mașini, Ed. Dacia, Cluj-Napoca, România, 1988.

72. Tăpălagă, I., ș.a. Contribuții privind influența temperaturilor criogenice asupra prelucrabilității prin deformare și așchiere a unor materiale metalice, Al II-lea Simpozion Național de Creativitate tehnică, Bușteni, România, 1985.
73. Teodorescu, M., ș.a. Cercetări privind prelucrabilitatea prin așchiere a unor oțeluri aliate, Conferința Tehnologii noi de fabricație în construcția de mașini, vol. I, Galați, România, 1977.
74. Uehara, K., ș.a. Chip Formation Surface Roughness and Cutting Force in Cryogenic Machining, Annals of the C.I.R.P., vol. III, Great Britain, 1970.
75. Vela, I. Construcția și exploatarea dispozitivelor, Îndrumător de proiect, Litografia U.„E.M.” Reșița, 1991.
76. Victor, H., ș.a. Schnittkraftberechnungen für das Abspannen von Metallen (Calculul forțelor de așchiere la prelucrarea metalelor), wt-Z. ind. Ferting, nr. 7, Karlsruhe, Germania, 1990.
77. Vlase, A. Contribuții privind studiul prelucrabilității prin așchiere a oțelurilor inoxidabile de producție indigenă, Teză de doctorat (rezumat), București, România, 1977.
78. Waldmann, H. Equipment for the distribution of liquefied gases, Cryogenics, U.S.A., 1976.
79. Worthing, J. C. Prelucrarea datelor experimentale, Ed. Tehnică, București, România, 1960.
80. Wright, P. K., ș.a. Effect of Rake Face Design on Cutting Tool Temperature Distributions, Journal of Engineering for Industry, nr. 120, mai 1980.
81. Zorev, N. Untersuchung der Kontaktspannungen an den Arbeitsflächen des Werkzeuges mit einer Scheideabrundung. Anals of the C.I.R.P., vol. XX, 1971, Germania.
82. *** Manual AutoCAD, firma Autodesk, 1994.
83. *** Manual AutoLISP, firma Autodesk, 1994.
84. *** Manual de Calitate și Fiabilitate, vol. I și II, București, România, 1988.
85. *** Manual de strunjire și frezare, firma KRUPP- Widia, 1990.
86. *** Manual de strunjire și frezare, firma SANDVIK-Coromant, 1994.
87. *** Norme specifice de securitatea muncii pentru prelucrarea metalelor prin așchiere, vol.I, D.P.M., București, România, 1994.
88. *** Prescripții tehnice pentru proiectarea, execuția și exploatarea recipientelor metalice sub presiune, I.S.C.I.R., Editura Tehnică, București, 1991.
89. *** Prospecte, firma KRUPP- Widia, 1992-1993.
90. *** Prospecte, firma SANDVIK-Coromant, 1990-1994.
91. *** Prospecte, firma SECO-Fagersta, 1990-1992.
92. *** Prospecte, firma TIZIT, 1990-1993.
93. *** Prospecte, firma WALTER, 1990-1993.
94. *** Revista „Construcția de mașini”, România, 1984-1994.
95. *** Revista de proiectare asistată de calculator „Hello, CAD fans”, 1993-1994.
96. *** Revista „Metalworking World”, Suedia, 1991-1993.
97. *** Revista „Știință și tehnică”, nr. 8, România, 1986.
98. *** Revista „World Industrial Reporter”, U.S.A., 1993.
99. *** Standarde pentru „Așchiere și scule așchietoare”, România, 1981-1994.
100. *** Tech Note - Strain Change Thermal Output and Gage Factor Variation with Temperature, Measurements Group, Inc., U.S.A., 1989.
101. *** Tehnologii. Calitate. Mașini. Materiale, nr. 1-7, Ed. Tehnică, București, 1987-1990.
102. *** Tehnici de răcire, firma TYROLIT, Austria, 1991.