

UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” DIN TIMIȘOARA

FACULTATEA DE MECANICĂ

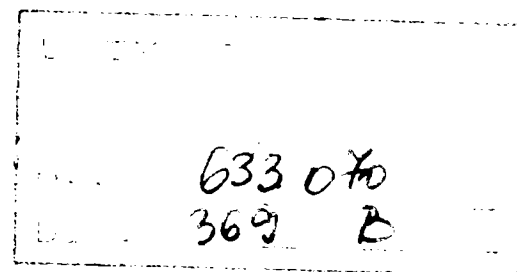
CATEDRA DE TEHNOLOGIE MECANICĂ

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA PROCESULUI TEHNOLOGIC PRIVIND
PRELUCRAREA ÎN STARE DURĂ A OȚELURILOR ALIATE**

-TEZĂ DE DOCTORAT-

Conducător științific:

Prof. dr. ing. Vasile Popovici



Autor:

ing. Gabriel Constantin Benga

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

TIMIȘOARA

2002

PREFAȚĂ

Cercetările cuprinse în prezenta teză de doctorat vin să confirme interesul larg care există în prezent cu privire la necesitatea prelucrării prin așchiere a unor materiale cu duritate ridicată, solicitate în domeniul aerospațial, al construcției de automobile, etc. Mai multe statistici vehiculate în ultima vreme fac referire la dezvoltarea pe care o cunoaște în momentul de față așchieria materialelor „greu prelucrabile” și tendința de înlocuire a tehnologiilor pur mecanice cu cele informatizate.

Până spre sfârșitul anilor '70 tehnologii și proiectanții care își desfășurau activitatea în domeniul prelucrărilor prin așchier nu aveau în față decât o alternativă atunci când se punea problema așchierii unor materiale a căror duritate depășea 50 HRC – rectificarea. În zilele noastre, în țările puternic industrializate din lumea întreagă este acceptată alternativa înlocuirii operației de rectificare cu diferite procedee de prelucrare prin așchiere (strunjire, frezare, etc.) utilizând scule din materiale ceramice și nitrură cubică de bor policristalină cu geometrie definită. Dacă la începutul anului 1980 vânzările de scule așchietoare cu geometrie definită din nitrură cubică de bor, erau aproape de zero, astăzi cifrele rezultate din vânzarea unor astfel de scule așchietoare este de cca. 150 de milioane de dolari pe an cu o creștere medie anuală de 15%. Aceste cifre lasă să se întrevadă dezvoltarea deosebită pe care o cunoaște în prezent așchieria materialelor cu duritate ridicată și în general greu prelucrabile cu scule din materiale performante cum este cazul ceramicelor și nitrurii cubice de bor policristaline.

Cercetările realizate în cadrul prezentei lucrări se referă la optimizarea unui proces tehnologic de prelucrare în stare dură a oțelului călit 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, prin prisma corelării durabilității sculei așchietoare, a rugozității suprafeței așchiate, a preciziei dimensionale obținute în urma procesului de așchiere în vederea înlocuirii operației de rectificare cu strunjirea în stare dură, folosind metode statistico-matematice.

În capitolul 1 sunt prezentate aspecte referitoare la necesitatea optimizării unui proces tehnologic clasic de prelucrare a oțelurilor cu duritatea mare. În acest capitol sunt trecute în revistă principalele materiale de sculă posibil de utilizat cu rezultate notabile în cazul așchierii materialelor cu duritate de 45-65 HRC. De asemenea sunt prezentate unele considerații cu privire la caracteristicile așchierii oțelurilor cu duritate mare, la uzura și durabilitatea sculelor din materiale ceramice și nitrură cubică de bor, precum și la aspecte ce vizează integritatea suprafețelor așchiate cu astfel de scule. În urma orientărilor actuale

în cercetarea aşchierii oțelurilor cu duritate mare s-au fixat obiectivele cercetărilor tezei de doctorat prezentate în finalul capitolului 1.

Capitolul 2 prezintă fundamentul teoretic referitor la metodele statistico-matematice folosite în scopul optimizării procesului tehnologic de prelucrare a oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

În capitolul 3 sunt prezentate metodele de cercetare utilizate în vederea realizării experimentelor, materialele de sculă utilizate, materialul de prelucrat folosit, precum și utilajele și echipamentele ce au fost utilizate pe parcursul desfășurării cercetărilor.

Capitolul 4 este structurat pe mai multe subcapitole în funcție de tipul cercetărilor parcurse. Astfel în prima parte sunt prezentate rezultatele privind influența parametrilor regimului de aşchiere asupra durabilității sculei și rugozității suprafeței aşchiate din 100Cr6 cu scule ceramice. În a doua parte este apreciată influența vitezei și avansului de aşchiere asupra durabilității sculei și rugozității suprafeței aşchiate cu mai multe scule din materiale ceramice și nitrură cubică de bor policristalină pentru oțelul 100Cr6. În continuare sunt analizate rezultatele referitoare la uzura și durabilitatea sculelor din materiale ceramice și nitrură cubică de bor utilizate pe parcursul experimentelor. În acest capitol sunt de asemenea analizate rezultatele cercetărilor privind influența parametrilor regimului de aşchiere și a materialului sculei asupra preciziei de prelucrare. Un loc important îl ocupă în acest capitol și cercetările referitoare la influența parametrilor regimului de aşchiere și a materialului sculei asupra temperaturii din zona de aşchiere. În ultima parte a capitolului 4 sunt prezentate rezultatele cercetărilor cu privire la modificările ce apar în stratul de suprafață al materialului aşchiat și al formei aşchiilor funcție de parametrii regimului de aşchiere și al materialului de sculă utilizat la prelucrarea oțelului călit 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC.

Capitolul 5 prezintă concluziile finale asupra lucrării, contribuțiile aduse și sugestiile privind eventualele direcții de continuare a cercetărilor.

Folosesc acest prilej pentru a mulțumi conducătorului științific, prof. dr. ing. VASILE POPOVICI pentru îndrumarea competentă și tactul cu care a condus colaborarea noastră pe parcursul elaborării acestei lucrări.

Doresc să exprim mulțumirile mele profesorului ALEXANDRE MENDES ABRAO și colaboratorilor săi profesorii JUAN CARLOS CAMPOS RUBIO și ROBERTO MARCIO DE ANDRADE de la Departamentul de Inginerie Mecanică din

cadrul Universității Federale din Minas Gerais, Brazilia, pentru ajutorul acordat pe parcursul realizării experimentelor ce au făcut obiectul cercetărilor mele.

Mulțumiri se cuvin a fi aduse și Oficiului Național al Burselor de Studii în Străinătate care mi-a acordat o bursă de specializare în vederea realizării experimentelor legate de teza de doctorat, la Universitatea Federală din Minas Gerais, Brazilia.

De asemenea aduc mulțumirile mele conducerii societății comerciale Daewoo Automobile S.A. Craiova care mi-a permis efectuarea unor experimente folosind facilitățile existente în respectiva societate comercială.

În final doresc să mulțumesc familiei mele pentru sprijinul și înțelegerea acordată pe parcursul realizării acestei lucrări.

INTRODUCERE

Apariția sculelor așchietoare din generația '90 precum și a unor echipamente tehnologice performante a atras după sine schimbarea viziunii asupra proiectării proceselor tehnologice.

În același timp apariția unor materiale deosebit de performante și în general greu prelucrabile a făcut ca cercetările să se orienteze în primul rând asupra materialelor de sculă posibil de utilizat în aceste cazuri, a procesului de așchiere și a condițiilor optime de lucru.

Prin materiale dure supuse așchierii se înțeleg de regulă aliajele feroase ce includ oțelurile pentru rulmenți, oțelurile de scule pentru deformare la cald sau la rece, oțelurile rapide, oțelurile dure turnate, fontele albe și fontele aliate caracterizate printr-o duritate cuprinsă între 45-65 HRC. De asemenea tot în categoria materialelor greu prelucrabile intră și aliajele neferoase care cuprind aliaje pe bază de aluminiu, titaniu, molibden, siliciu și unele materiale pe bază de compuși polimerici (sticlă ceramică, sticlă organică, fibră de sticlă).

Interesul pentru prelucrarea prin așchiere a materialelor dure și greu prelucrabile prin procedee ca: strunjirea, frezarea, găurirea, etc. a fost generat de dorința de simplificare a procedeelelor tehnologice tradiționale precum și de o serie de avantaje sub aspectul productivității, costului prelucrării, calității suprafeței prelucrate etc.

În stadiul actual al dezvoltării industriale îmbunătățirile aduse procesului tehnologic sunt principala tendință a progresului tehnic. Eficiența producției, performanța produselor depinde de modul de abordare tehnologică. Deosebit de importante devin în acest caz necesitățile legate de obținerea unui mai mare grad de prelucrare, a unei mai mici energii consumate, a unei mai bune rigidități și precizii a pieselor prelucrate.

O gamă de materiale folosite la realizarea unei varietăți de produse comerciale caracterizate prin rezistență mare la uzură, duritate crescută au condus la nevoia de noi materiale de sculă. Diamantul, nitrura cubică de bor și materialele ceramice, materiale de sculă extradure a căror duritate depășește de 2-5 ori duritatea materialului ce se prelucrează permit îndeplinirea necesităților impuse de tehnica modernă. Sculele așchietoare realizate din materiale ceramice pe bază de Al_2O_3 și cele din nitrură cubică de bor policristalină (NCB) par să fie cele mai adecvate pentru obținerea unei bune calități a

suprafeței prelucrate în cazul aşchierii unor metale, aliaje neferoase, oţeluri și fonte durificate, aliaje rezistente la temperaturi ridicate, pe bază de Ni ca și pentru piese acoperite cu o crustă din turnare sau cu straturi depuse prin pulverizare, componente nemetalice, carburi, materiale polimerice compozite în producția de serie mare și masă.

Aceste scule oferă o mare durabilitate și asigură precizia dimensională a pieselor pentru o perioadă lungă de timp fără vreo reglare ulterioară sau vreo schimbare a sculei fapt pentru care ele sunt utilizate pe scară largă pe linii automate de producție și centre de prelucrare.

Substanțele covalente cu duritate peste 20600 MPa sunt în anumite cazuri clasificate ca "materiale extradure". Această concluzie s-a tras în urma analizei relației dintre duritatea Mohs și microduritate. În zilele noastre există un număr destul de mare de astfel de materiale. Totuși duritatea mare a materialelor aşchiate impune limite de duritate minimală pentru materialul sculei ceea ce face ca numărul acestora din urmă să se restrângă considerabil.

Preocupările pentru aşchiera materialelor dure au evoluat în strânsă concordanță cu sculele aşchietoare și mașinile unelte, câteva date fiind semnificative în acest sens :

- testarea sculelor din ceramică pură pe bază de oxid de aluminiu (Al_2O_3) dezvoltate cu precădere în Germania, S.U.A., Rusia a pus în evidență în cursul anilor '50 performanțele deosebite ale acestui material fără ca el să poată fi utilizat pe scară largă datorită mașinilor unelte care nu dispuneau de caracteristicile necesare,

- prezentarea pentru prima dată a unor aplicații practice ale sculelor din materiale ceramice în cadrul expoziției de mașini unelte de la Chicago (1956) și Hanovra (1957),

- elaborarea ceramicelor mixte (1970) și a celor pe bază de nitrură de siliciu (SIALON-1981),

- punerea la punct a metodei de obținere a nitrurii cubice de bor (NCB) în 1957,

- utilizarea ca material de sculă a NCB începând cu anul 1970,

- realizarea în ultimi ani a unor mașini unelte foarte rigide, precise și puternice prevăzute cu senzori proprii pentru monitorizarea procesului de aşchiere .

Principalele dificultăți de prelucrare a materialelor cu duritate ridicată amintite mai sus sunt cauzate în primul rând de duritatea mare și de caracterul abraziv al diferiților constituenți, duritatea mare conducând la forțe de aşchiere importante. Din acest motiv se impune o analiză atentă a sculelor aşchietoare și a mașinii-unelte, mai mult chiar trebuie

abordate toate elementele sistemului tehnologic mașină-unealtă-dispozitiv-sculă-piesă MUDSP pentru că o singură verigă slabă poate condiționa în mare măsură obținerea unor rezultate necorespunzătoare.

Cerințele impuse sculelor așchietoare pentru prelucrarea aliajelor feroase cu duritate mare (45-65 HRC) sunt aceleași ca și în cazul așchierii cu scule convenționale însă exigențele sunt mai mari - figura 1.

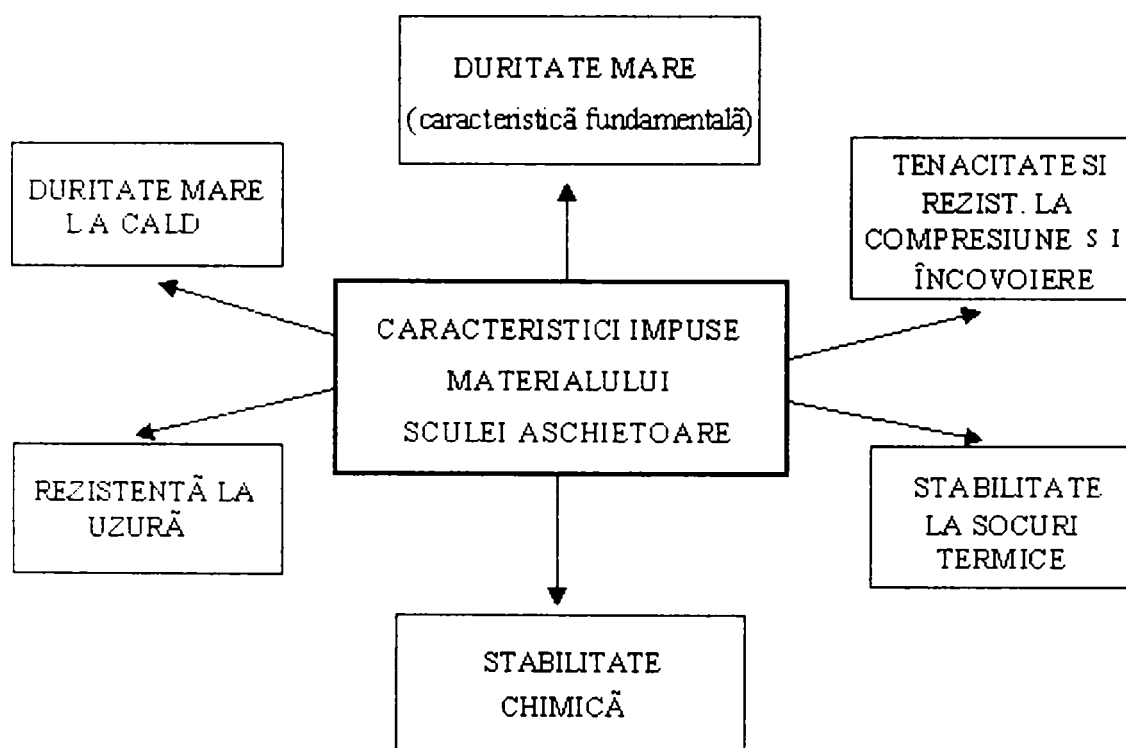


Figura 1. Cerințele impuse materialului sculei așchietoare la prelucrarea materialelor dure

1. CONSIDERATII CU PRIVIRE LA AȘCHIEREA OȚELURILOR CU DURITATEA PESTE 45 HRC

1.1 Generalități

Diferitele statistici ce fac referire la tipurile de materiale folosite în industria constructoare de mașini, pe plan mondial, lasă să se observe că materialele cu duritate ridicată și în special oțelurile călite a căror duritate depășește 45 HRC sunt utilizate din ce în ce mai mult în industria prelucrătoare. În mod tradițional aceste materiale sunt prelucrate urmând un proces tehnologic ce cuprinde prelucrarea prin așchiere, urmată de un tratament termic de durificare și apoi prelucrarea prin abrazare în vederea obținerii unei calități superioare a suprafețelor prelucrate. Dintre procedeele de finisare prin abrazare unul dintre cele mai folosite este rectificarea. În urma operației de rectificare este posibilă obținerea unor suprafețe cu o rugozitate și o precizie a suprafeței notabile, dar în același timp există un procent de risc deloc neglijabil constând în posibilitatea apariției unor defecte de natură termică pe suprafața piesei prelucrate, cum sunt arsurile, microfisurile și apariția tensiunilor reziduale de întindere. În plus operația de rectificare este mai puțin productivă și necesită un consum de energie mai mare decât operația de strunjire.

În acest fel tendința de înlocuire a operației de rectificare cu operația de strunjire, acolo unde acest lucru este posibil, utilizând așa-numitele materiale de sculă “extradure”, vine ca o consecință firească în vederea optimizării procesului tehnologic.

1.2. Aspecte cu privire la necesitatea optimizării unui proces tehnologic clasic de prelucrare prin așchiere a oțelurilor cu duritate mare

La realizarea unui produs trebuie parcurse o serie de etape necesare obținerii produsului în forma sa finită. Cu alte cuvinte există în cadrul proceselor tehnologice anumite operații numite operații critice [75,123] care afectează în sens negativ eficiența procesului tehnologic, în sensul că ele conduc la creșterea cheltuielilor de execuție, la creșterea consumului energetic, etc. Optimizarea unui proces tehnologic care conține o operație critică se poate face utilizând mai multe variante de optimizare așa cum reiese și din tabelul de mai jos.

Tabelul 1.1. Strategii de optimizare [75,123]

PROCES TEHNOLOGIC CONVENȚIONAL	
Sucesiunea operațiilor	Legendă
	Operație critică
STRATEGIA DE OPTIMIZARE	
SUBSTITUȚIE 	Operație nouă care utilizează un procedeu mai avantajos ca cel de la operația C
COMBINARE 	Prelucrările prevazute la operațiile B și C se execută pe o singură mașină-unelte
ELIMINARE 	Operație eliminată
SCHIMBAREA ORDINII 	

Se poate observa că în vederea optimizării procesului tehnologic se poate opta fie pentru înlocuirea operației critice, realizarea operației critice în cadrul altei operații, schimbarea ordinii efectuării operațiilor sau chiar eliminarea operației critice.

În figura următoare este prezentat un proces tehnologic clasic și unul optimizat pentru realizarea poansonului unei matrițe [123].

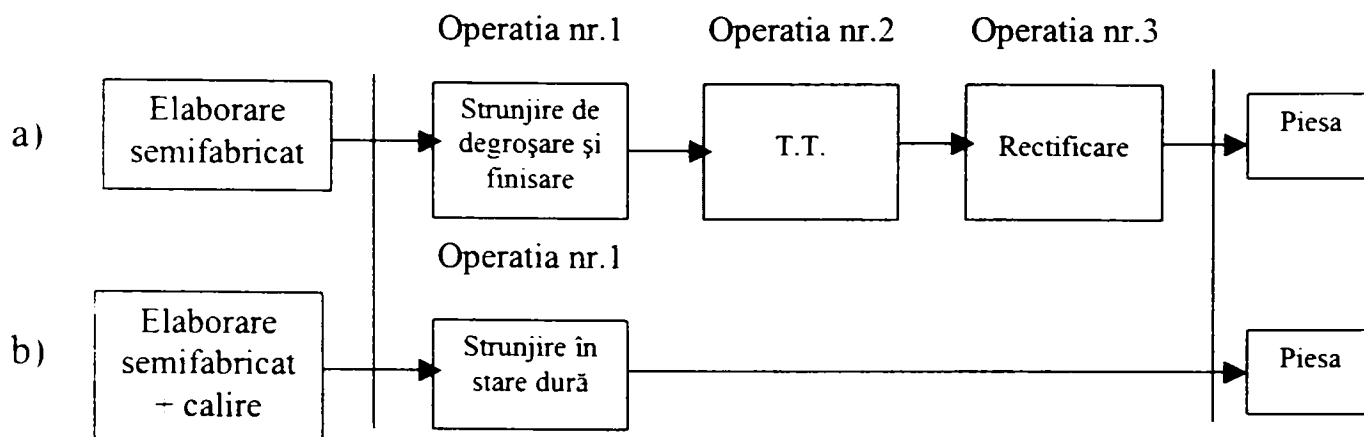


Figura 1.1. Exemplet de optimizare a unui proces tehnologic [123]

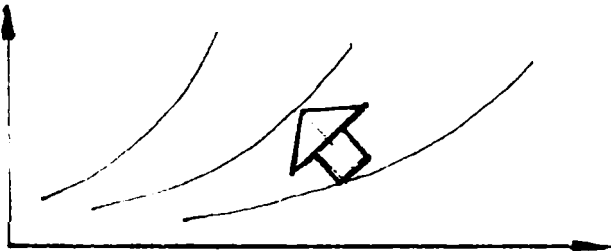
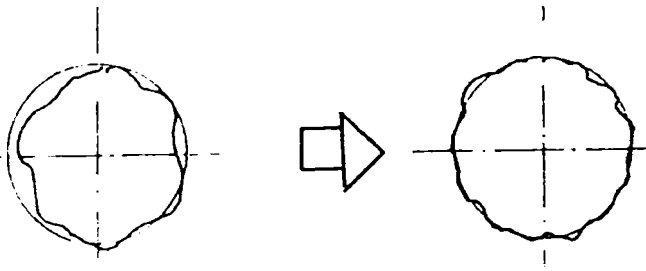
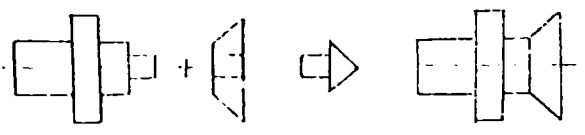
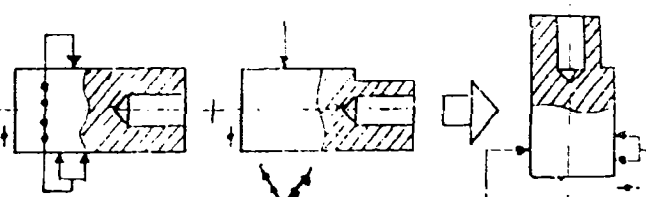
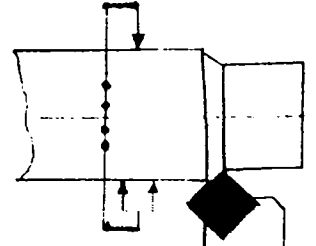
Avantajele sunt notabile în varianta b) față de varianta a) dat fiind faptul că se elimină o operație de tratament termic, cunoscând că operațiile de tratament termic sunt mari consumatoare de energie și în plus în varianta a) în urma operației de tratament termic pot apare rebuturi la piese care au fost prelucrate anterior. Astfel, aceste piese au deja înglobate costuri legate de manoperă și energie, pe când în varianta b) semifabricatul se află deja în stare caldă de la elaborare trebuind să fie numai introdus în baia de călire.

Optimizarea procesului tehnologic poate fi făcută și la nivelul operației. Prelucrarea materialelor în stare dură influențează costul prelucrării îndeosebi prin reducerea numărului de operații. Optimizarea unui proces de prelucrare prin așchiere presupune o tendință de creștere a productivității prin:

- sporirea cantității de material așchiat în unitatea de timp,
- o îmbunătățire a calității suprafețelor,
- realizarea unei precizii dimensionale ridicate,
- creșterea complexității formelor care conduce la eliminarea unor cheltuieli suplimentare legate de asamblare, prelucrarea suprafețelor ce se assemblează, rigiditate mai mare a piesei,
- utilizarea unor mașini-unelte cu gamă largă de prelucrare (are ca rezultat reducerea timpilor de prindere și desprindere a piesei precum și reducerea erorilor de poziție reciprocă a suprafețelor prelucrate la prinderi diferite),
- prelucrarea materialelor în stare dură fapt ce contribuie în mod direct la înlocuirea unor operații mai puțin productive (rectificarea) cu unele operații cu un grad ridicat de productivitate (strunjirea) precum și la reducerea numărului de operații în cadrul procesului tehnologic respectiv.

Toate aspectele menționate mai sus sunt prezentate schematic în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2. Strategii de optimizare la nivel de operații

<p><u>Creșterea vitezelor de așchiere</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - productivitate ridicată - calitate superioară a suprafețelor 	
<p><u>Precizie de prelucrare ridicată</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - eliminarea unor operații - calitate superioară a suprafețelor - precizie dimensională superioară 	
<p><u>Creșterea complexității formelor</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - eliminarea cheltuielilor de asamblare - eliminarea prelucrării unor suprafețe - rigiditate mai mare a piesei 	
<p><u>Mașini-unelte cu gamă largă de prelucrare</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - reducerea timpului de priză și desprindere - reducerea erorilor de poziție reciprocă a suprafețelor prelucrate la prinderi diferite 	
<p><u>Prelucrarea materialelor în stare dură</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - înlocuirea unor operații costisitoare - reducerea numărului de operații 	

Un exemplu clasic este dat de König [75] pentru prelucrarea inelului exterior al unui rulment atât la diametrul interior cât și la cel exterior. În locul rectificării diametrului interior și a celui exterior al inelului rulmentului din 100Cr6 cu duritatea 65HRC se face o strunjire în stare dură a celor două diametre. Acest lucru are ca și consecință o reducere cu cca. 50% a timpului relativ de execuție.

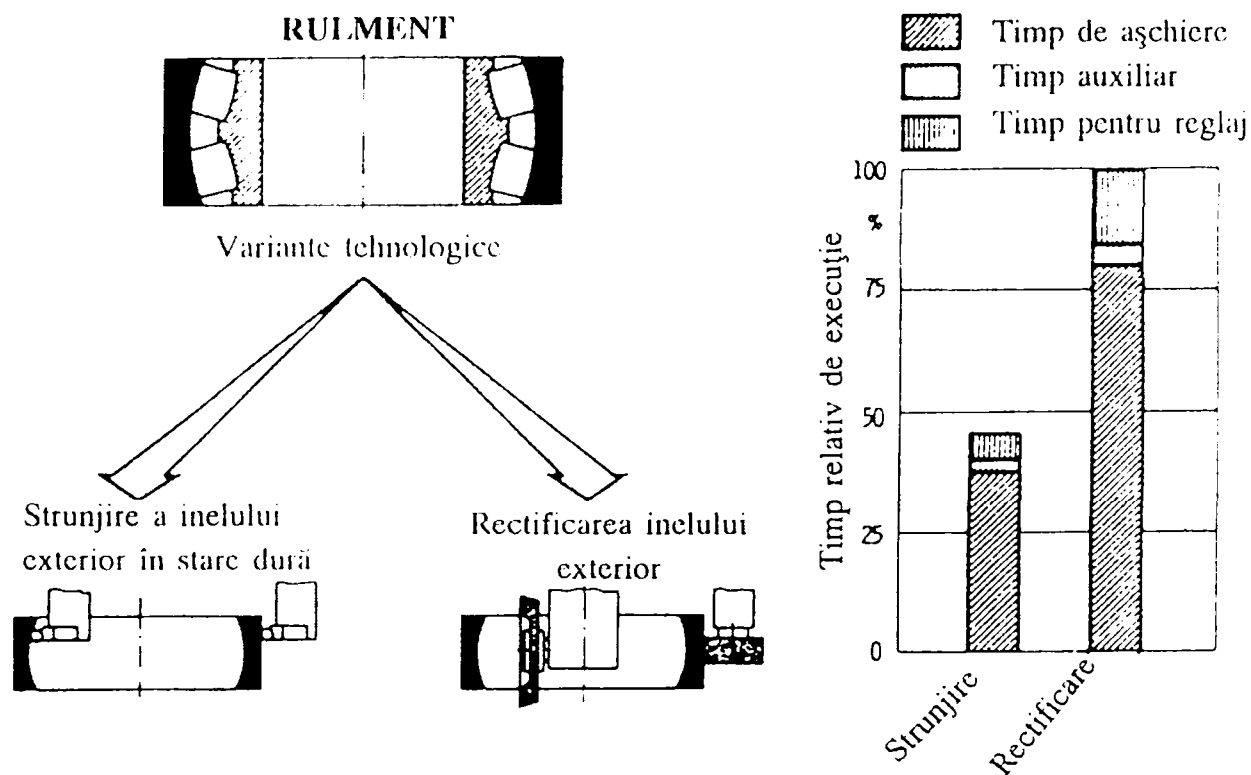


Figura 1.2. Exemplu de prelucrare a inelului exterior al unui rulment în două variante tehnologice [75]

Același lucru a fost confirmat și de un studiu făcut de firma Sumitomo Electric pe un caz real de prelucrare care demonstrează că deși costul unor materiale de scule extradure cum este cazul nitrurii cubice de bor policristaline (NCBP) este mai mare decât al sculelor folosite la operația de rectificare, costul total de prelucrare este favorabil strunjirii, el reprezentând aproximativ 50% din costul necesar operației de rectificare.

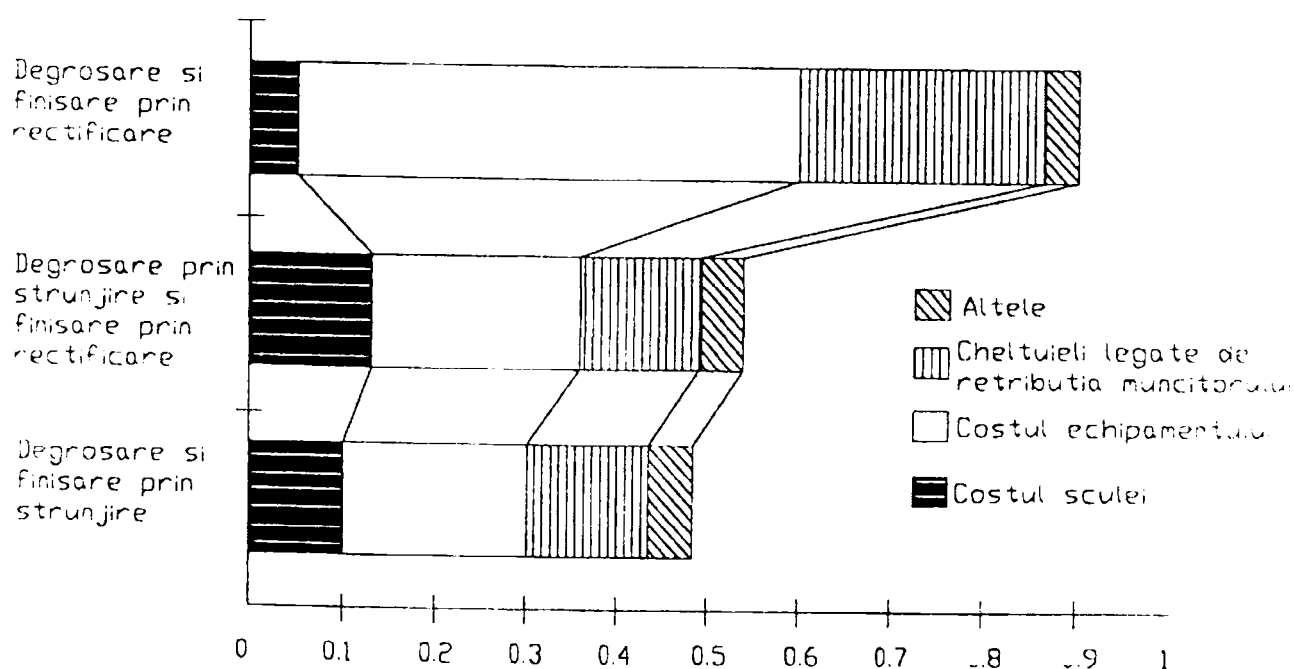


Figura 1.3. Analiza costurilor la prelucrarea unor oțeluri durificate [94]

Se poate aprecia că interesul pentru aplicarea în industria prelucrătoare a strunjirii materialelor cu duritate mare (peste 45HRC) în vederea înlocuirii operației de rectificare și deci în vederea optimizării procesului tehnologic este pe deplin justificată.

1.3. Tipuri de materiale de sculă utilizate la așchiera oțelurilor cu duritate peste 45 HRC

În lucrarea de față se va face referire în cadrul materialelor de scule folosite la așchiera oțelurilor cu duritate de peste 45 HRC numai la materialele ceramice care se împart în ceramice oxidice, ceramice mixte și ceramice neoxidice. De asemenea vor fi prezentate și sculele așchietoare din nitrură cubică de bor policristalină.

1.3.1. Materiale ceramice folosite la prelucrarea prin așchiere a oțelurilor cu duritate mai mare de 45HRC

Materialele ceramice așchietoare prezintă un mare interes în procesele de prelucrare prin așchiere datorită posibilității de aplicare a vitezelor mari de așchiere care permit rate mari de îndepărtare a materialului. Materialele ceramice folosite acum ca scule așchietoare au la bază oxidul de aluminiu și nitrura de siliciu, așa încât se pot distinge două familii care și ele la rândul lor sunt subîmpărțite.

Materialele din subgrupe diferă prin compoziție, procesul de fabricare și proprietăți. Ca o consecință a proprietăților specifice ale acestor materiale ceramice există tipuri distincte de uzură și domenii de aplicare diferite.

În comparație cu materialele de sculă tradiționale cum sunt oțelurile rapide și carburile metalice cel mai important avantaj al materialelor ceramice este marea lor rezistență la uzură, rezistența la temperatură ridicată și marea stabilitate chimică.

Dezavantajele critice sunt rezistența scăzută la șocuri și fragilitatea ridicată a materialului care cauzează rezistență scăzută la încovoiere.

Materialele ceramice sunt foarte potrivite pentru a fi utilizate în condiții de așchiere care necesită o mare duritate a sculei, rezistență mare la uzură, stabilitate chimică și termică. Ele își găsesc domeniul de aplicare la așchiera metalelor feroase cu duritate ridicată.

În prezent se dispune de următoarele materiale ceramice pentru prelucrarea oțelurilor și fontelor cu duritate ridicată (45-65 HRC) :

- ceramice pure (Al_2O_3) pe bază de oxid de aluminiu și alți oxizi metalici (ZrO_2) care au o culoare albă.

- ceramice mixte ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$) compuse din oxid de aluminiu și carburi metalice. prezintă culoare neagră.
- ceramice ranforsate cu fibre de SiC (whiskers-uri), $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$,
- ceramice pe bază de nitrură de siliciu. Acestea sunt mai moi decât cele pe bază de Al_2O_3 și actualmente sunt în plină dezvoltare. Cele mai cunoscute sunt SIALON-urile (Si_3N_4), care sunt ceramice de culoare neagră compuse din nitrură de siliciu și oxizi metalici.

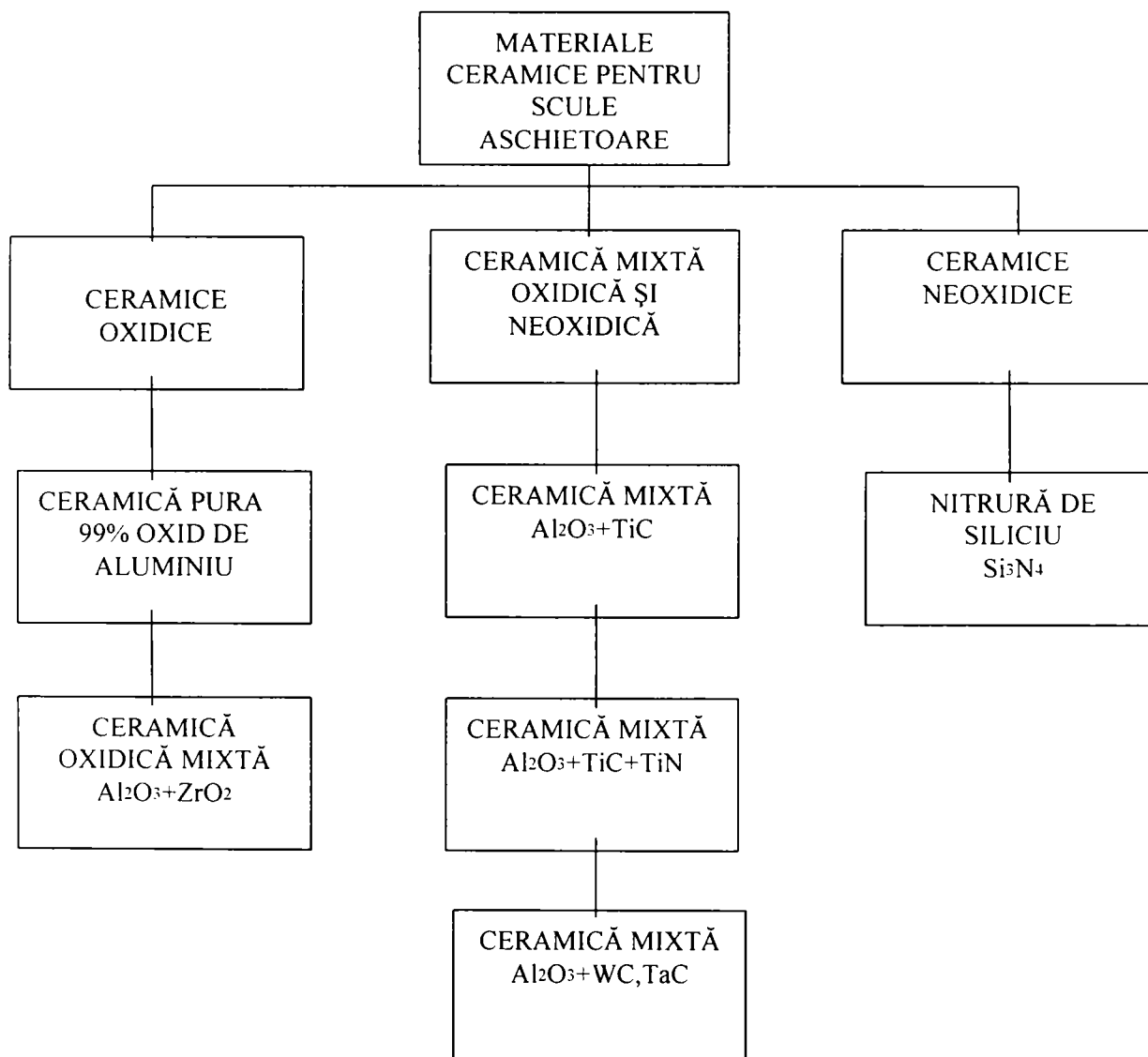


Figura 1.4. Clasificarea materialelor ceramice pentru scule așchietoare

Ceramică albă Al_2O_3

Sculele din ceramică bazată pe alumină pură (Al_2O_3) sunt produse prin presare la rece la o presiune de 10-30 kbar urmată de sinterizare într-o atmosferă oxidantă la o temperatură de 1800°C. Aceste ceramice au culoarea albă și posedă o duritate de 1770 HV, apropiată de cea a carburilor.

O altă metodă de obținere este următoarea: presare la cald simultan combinată cu compactare la presiune înaltă și sinterizare la temperatură ridicată într-o singură operație. În acest fel se obțin plăcuțe a căror culoare este gri deschis. De asemenea se poate folosi presarea izostatică la cald care simplifică realizarea unei geometrii a sculei cu spărgătoare de așchii.

Ceramicile bazate pe oxidul de aluminiu Al_2O_3 au o bună stabilitate chimică în comparație cu carburile, dar pe de altă parte prezintă o tenacitate și o rezistență la șoc termic și mecanic mai mică decât carburile. În majoritatea operațiilor de așchiere aceste materiale de scule se folosesc fără lichide de răcire [134].

Pentru a crește tenacitatea ceramicelor pe bază de Al_2O_3 se adaugă în procent de 12% zirconiu. Grăunții foarte fini de zirconiu manifestă o transformare de fază îmbunătățind tenacitatea sculei ceramice.

La 1150° rețeaua cristalografică a zirconiului se schimbă din forma tetragonală în cea monoclinică cauzând o creștere a volumului cu cca 5% [81, 10].

În timpul procesului de răcire tensiunile reziduale de compresiune cresc în vecinătatea particulelor de zirconiu care acționează ca bariere împotriva propagării fisurilor [124].

Gruss [58] arată că sculele din Al_2O_3 fără zirconiu au o reziliență de aproximativ $5.5 \text{ Mpa} \cdot \text{mm}^2$, iar această valoare crește la $9,5 \text{ Mpa}/\text{mm}^2$ dacă se adaugă în matrice 15%Zr, dar creșterea în continuare a conținutului de Zr conduce la o scădere a tenacității așa cum se observă din figura 1.5.

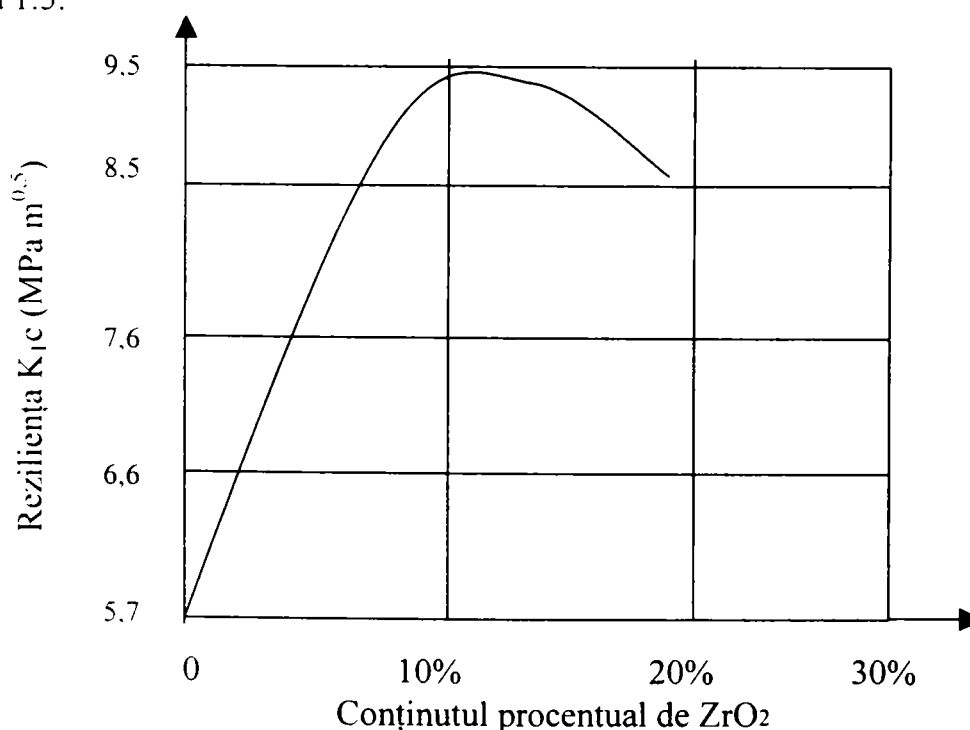


Figura 1.5. Reziliența ceramicelor la care s-a adăugat ZrO₂ [58]

Sculele ceramice în general și cele din ceramică albă în special au încorporată o fațetă cu un unghi de înclinare negativ astfel încât solicitarea principală a vârfului sculei să fie la compresiune și nu la încovoire dată fiind fragilitatea ridicată a acestui tip de material. Trent [134] recomandă utilizarea unui unghi de degajare negativ $\gamma = -5^{\circ}$ împreună cu un șanfren al muchiei așchietoare având lățimea de 0.75 din valoarea avansului și unghiul de înclinare cuprins între $10-30^{\circ}$. Mai mulți producători de astfel de scule așchietoare (Sandvik Coromant, DeBeers Ind., Ssang Yong Cerabit, Kennametal) recomandă un șanfren de $0.2 \times 20^{\circ}$.

Ceramica mixtă Al_2O_3+TiC

Sculele din ceramice mixte conțin în general o matrice de Al_2O_3 cu o granulație foarte fină ($0.5-1 \mu m$) având un procent de cca. 30% TiC sau TiN. Aceste scule se obțin prin presare la cald $1500-1800^{\circ}C$ și utilizând o presiune de 10-40 MPa sau prin presare izostatică la cald. Ceramicile mixte se mai numesc și ceramice negre datorită culorii lor. TiC și TiN se adaugă în vederea îmbunătățirii rezistenței la șoc termic prin creșterea conductibilității termice care cauzează o scădere a gradientului termic și prin urmare scăderea tensiunilor termice. Acest lucru permite utilizarea acestor scule la viteze mici de așchiere cu un risc mai scăzut de apariție a uzurii prin fracturare decât în cazul ceramicii albe. O ceramică mixtă care conține 30% TiC va avea o duritate de cca. 2800 HV, conductibilitate termică 35 W/mK, reziliența $7 MPa m^{1/2}$ [50]. Duritatea mare la temperaturi ridicate ($1000^{\circ}C$) a ceramicii mixte este superioară celei din ceramică albă și anume 800HV față de 650 HV [56]. În funcție de producător se folosesc mici cantități de aditivi pentru a obține o îmbunătățire a proprietăților (în special cele referitoare la rezistența mecanică). Astfel oxidul de magneziu este deseori adăugat pentru a inhiba creșterea grăunților. Ca și în cazul ceramicilor albe se recomandă utilizarea unui șanfren al muchiei și a unui unghi de degajare negativ. Figura 1.6 arată microstructura unei ceramice mixte având un conținut de cca. 28% TiC.



Figura 1.6. Microstructura unei ceramice mixte Al_2O_3+TiC

Ceramice întărite cu fibre de SiC (whiskers-uri de SiC)

O inovație relativ recentă costă în adăugarea a peste 25% din volum de whiskers-uri din carbură de siliciu în matricea de Al_2O_3 . Whiskers-urile au diametru de aproximativ $2\mu m$ - figura 1.7. și introducerea lor în matricea de aluminiu îmbunătățește în special tenacitatea și rezistența la șoc termic.

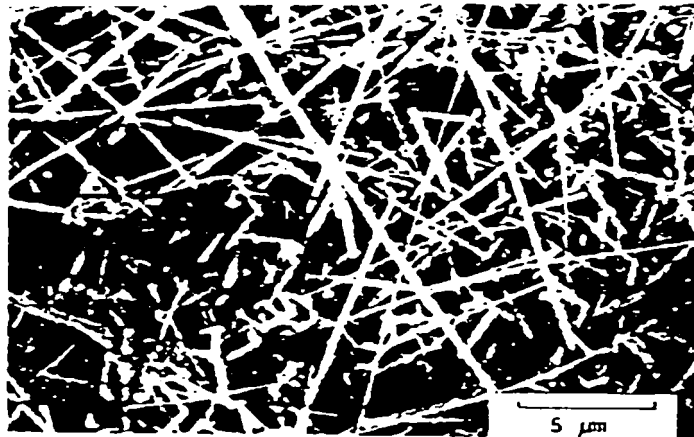


Figura 1.7. Whiskers-uri de SiC în matricea de Al_2O_3

Aceste produse se obțin prin presare la cald și au o culoare verzuie. Principalele avantaje ale ceramicelor cu fibre de SiC notate WRA (whiskers reinforced alumina) constau într-o bună reziliență, aprox. $8MPa/m^{1.2}$, rezistență la șoc termic și duritate mare la temperatura camerei, cca. 2000HV. Smith [116] a descoperit că sculele din WRA s-au dovedit ineficiente la prelucrarea oțelurilor moi și cu duritate medie datorită reacțiilor chimice ce iau naștere între SiC și materialul de prelucrat, fapt ce conduce la o uzură de crater. De asemenea el sugerează că sculele din WRA pot fi utilizate cu succes la prelucrarea aliajelor de Ni (unde prezintă o rezistență superioară la uzura prin abraziune) și la aşchiera întreruptă a oțelurilor durificate. Whitney și Vaidyanathan [142] au arătat că la aşchiera Inconel 718 utilizarea WRA este de trei ori mai performantă decât în cazul utilizării altor ceramice și de opt ori mai performantă decât în cazul utilizării WC. Evans [49] sugerează că îmbunătățirea tenacității ceramicelor prin fibre fragile sau whiskers-uri depinde de rezistența legături dintre interfețe. Desfacerea legăturii reduce amplitudinea tensiunii concentrate în fibră de-a lungul frontului de fisurare al matricei și atunci când este suficient de mare permite fisurarea în jurul fibrei, lăsând fibra intactă. Fibra rămasă intactă, inhibă apariția de noi fisuri obținând un compozit tenace, iar acest fenomen se păstrează la temperaturi ridicate. Se poate utiliza și lichid de răcire, dar faptul că WRA prezintă o rezistență la șoc termic bună, face ca să fie posibilă aşchiera întreruptă fără riscul apariției unei uzuri catastrofice datorate temperaturii ridicate [142].

Ceramicile pe bază de nitrură de siliciu Si_3N_4 – SIALON

Aceste materiale de sculă sunt bazate pe Si_3N_4 și pot fi produse fie prin presare la cald, mulare, injecție, iar apoi sinterizate la cald, proprietățile finale ale produsului fiind influențate de compoziție și de procesul de producere. Hepworth [61] afirmă că există două trăsături care fac să difere nitriții și carburile de ceramicile oxidice. În primul rând materia primă necesită un proces termochimic de durată mare și prin urmare aceste materiale sunt mai scumpe, iar în al doilea rând sunt materiale covalente (spre deosebire de ceramicile oxidice care sunt ionice), al căror comportament este dictat de rigiditatea legăturii lor care conferă duritate și rezistență la temperaturi ridicate. Procesul de sinterizare s-a introdus pentru a îmbunătăți densificarea. Se folosesc aditivi cum sunt oxidul de ytriu (Y_2O_3), oxidul de aluminiu (Al_2O_3), oxidul de magneziu MgO și oxidul de beriliu BeO . În multe cazuri se mai adaugă și TiC pentru a îmbunătăți rezistența la abraziune și duritatea. În figura 1.8 este prezentată microstructura unui material de sculă pe bază de Si_3N_4 .

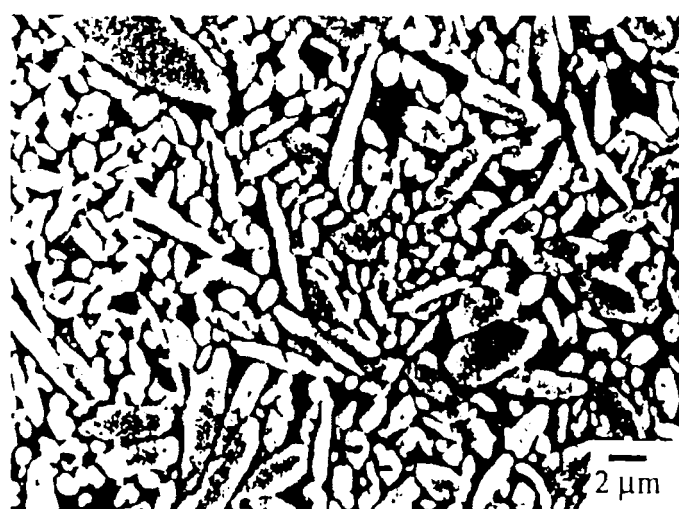


Figura 1.8. Microstructura unui material de sculă pe bază de Si_3N_4 (Sandvik Coromant)

Reziliența sculelor aşchietoare din Si_3N_4 este cuprinsă între $5-7 \text{ MPa m}^{1/2}$. De asemenea ceramicile pe bază de Si_3N_4 au o durabilitate mai scăzută decât ceramicile albe și cele mixte la schimbările ciclice de temperatură. Din păcate Si_3N_4 posedă o foarte scăzută rezistență la uzura prin difuzie, interacționând cu fierul, prin urmare nu se recomandă folosirea acestui material la prelucrarea oțelurilor datorită uzurii de crater foarte rapide [56].

Cother și Hodgson [43] dau câteva detalii pentru un compozit SIALON conținând 77% Si_3N_4 , 13% Al_2O_3 și 10% Y_2O_3 cu o duritate la temperatura camerei de 1800 HV, reziliență $5 \text{ MPa m}^{1/2}$ și conductibilitate termică 20-25 W/mK. Conductibilitatea termică

ridicată conferă o bună rezistență la șoc termic, iar duritatea la temperaturi ridicate, și anume 900 HV este superioară aceleia a carburilor sau a ceramicelor oxidice făcând acest tip de material potrivit pentru prelucrarea câtorva aliaje pe bază de Ni, fonte și oțeluri durificate [10, 34, 54]. Un dezavantaj major al sculelor așchietoare pe bază de Si_3N_4 este rezistența scăzută la uzura prin difuzie atunci când se prelucrează oțeluri cu duritate medie. În vederea diminuării reacțiilor chimice care conduc la uzura prin difuzie se utilizează acoperirea suprafeței active a sculei așchietoare cu straturi pe bază de TiC, TiN, Al_2O_3 și $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$, fiind posibilă în acest fel prelucrarea oțelurilor cu rate mari de îndepărtare de material.

1.3.2. Nitrura Cubică de Bor

Nitrura cubică de bor este o sare a acidului azotic care supusă unei acțiuni combinate de presare sub regim termic ridicat își modifică structura cristalină din sistem hexagonal în sistem cubic (asemănător diamantului) [54]. În prezent se cunosc patru modificări polimorfice ale nitrurii de bor care diferă ca structură cristalină:

- nitrură de bor hexagonală, NHB
- nitrură de bor romboedrală, NRB
- wurtzit, WBN,
- nitrură cubică de bor, NCB.

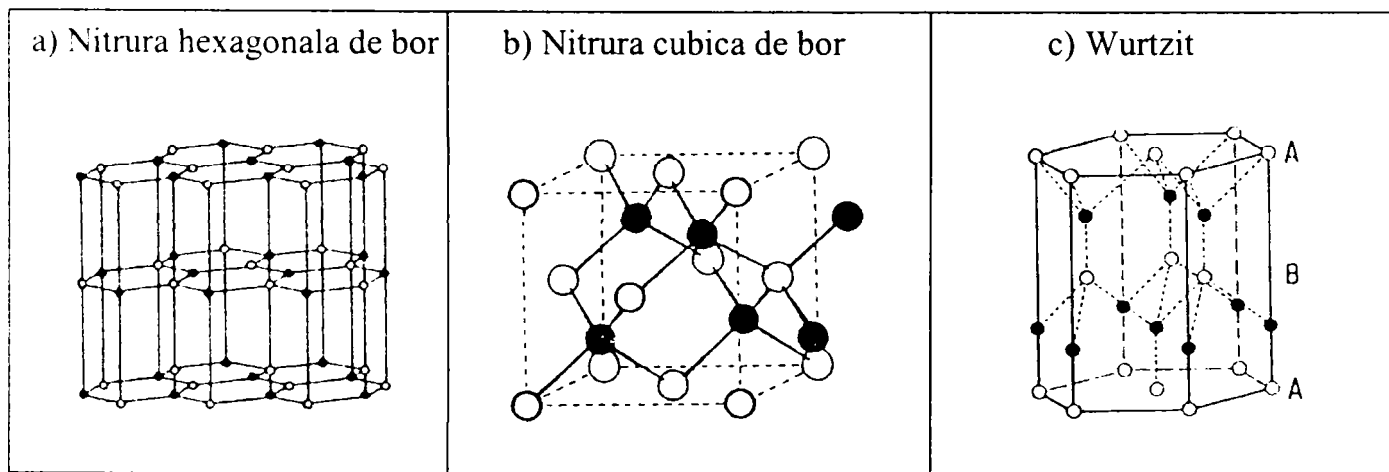


Figura 1.9. Posibile modificări polimorfice ale nitrurii de bor

Nitrura de bor hexagonală este materia primă pentru celelalte modificări ce urmează a fi realizate. Bazat pe ideea că atomii care formează compuși tind să aibă cea mai stabilă configurație electronică, atomii de bor din NHB transmit în principal electroni de valență s_2p spre atomii de azot care rezultă în configurații stabile s_2 și $s_2 p_6$ ale atomilor de bor respectiv de azot. NCB în mod foarte asemănător cu diamantul reprezintă un

sistem în care fiecare atom de bor este în stare de hibridizare sp^3 . La NCB totuși fiecare atom de bor este înconjurat de atomi de azot care formează un tetraedru și fiecare atom de azot este înconjurat de un tetraedru de atomi de bor (fig. 1.9 b). Fiecare atom are trei legături covalente și una donor-acceptor. Prin urmare legătura chimică în cazul nitrurii cubice de bor este covalentă și parțial ionică. Acest lucru are ca rezultat o temperatură de topire mai mică și de asemenea o duritate mai mică decât a diamantului [71]. WBN este o structură wurtzitică. Fiecare atom al unui element al materialului este înconjurat de patru atomi ai celuilalt element, dar aranjamentul atomilor de bor și de azot ajunge la o împachetare hexagonală. O astfel de structură este intermediară între cea asemănătoare grafitului și cea caracteristică NCB. În același timp wurtzit-ul este mai aproape de NCB decât de NHB ca structură energetică și cristalină. În diagrama următoare este pusă în evidență prezența wurtzit-ului.

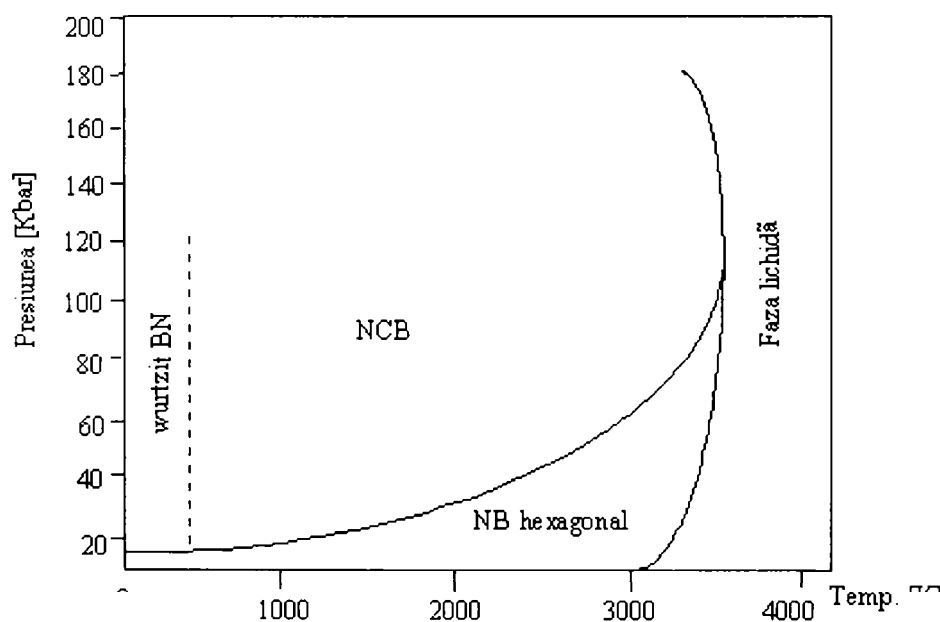


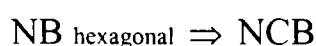
Figura 1.10. Diagrama de formare a NCB [54, 45]

NCB se obține în două faze succesive:

1⁰ Prin combinarea clorurii de bor cu hidrogenul la temperaturi de 1100- 1400⁰C produsă prin descărcarea unui arc electric între doi electrozi de wolfram:



2⁰ Nitrura hexagonală de bor se transformă în NCB în camera de sinteză la presiunea de 100 Kbar și temperatură de 1500⁰C



Tabuchi [126] a descris tehnologia și principiul de funcționare al dispozitivului utilizat la obținerea NCB în condiții de temperatură și presiune foarte ridicate.

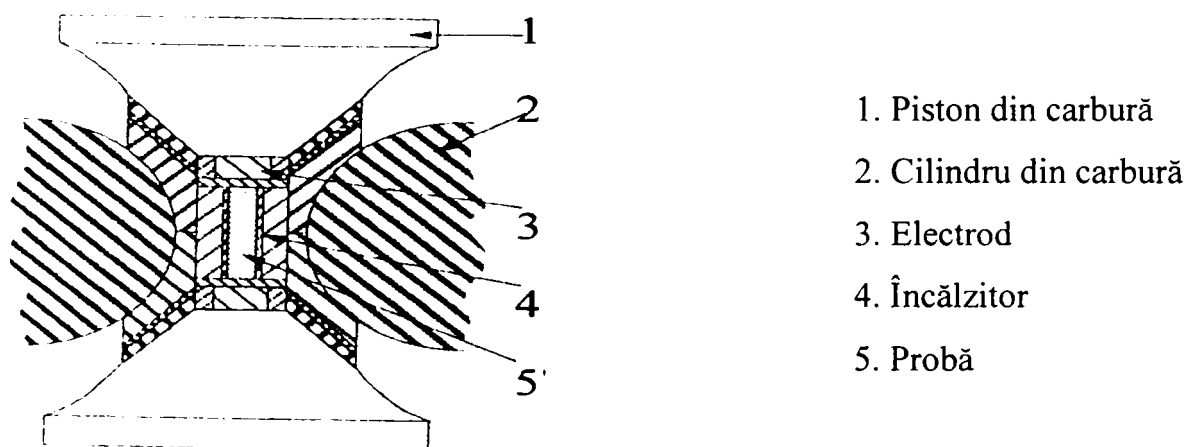


Figura 1.11. Schema dispozitivului de obținere a NCB în condiții de temperatură și presiune ridicate [126]

Un alt tip de dispozitiv cunoscut sub denumirea de presă cubică este prezentat în figura 1.12.

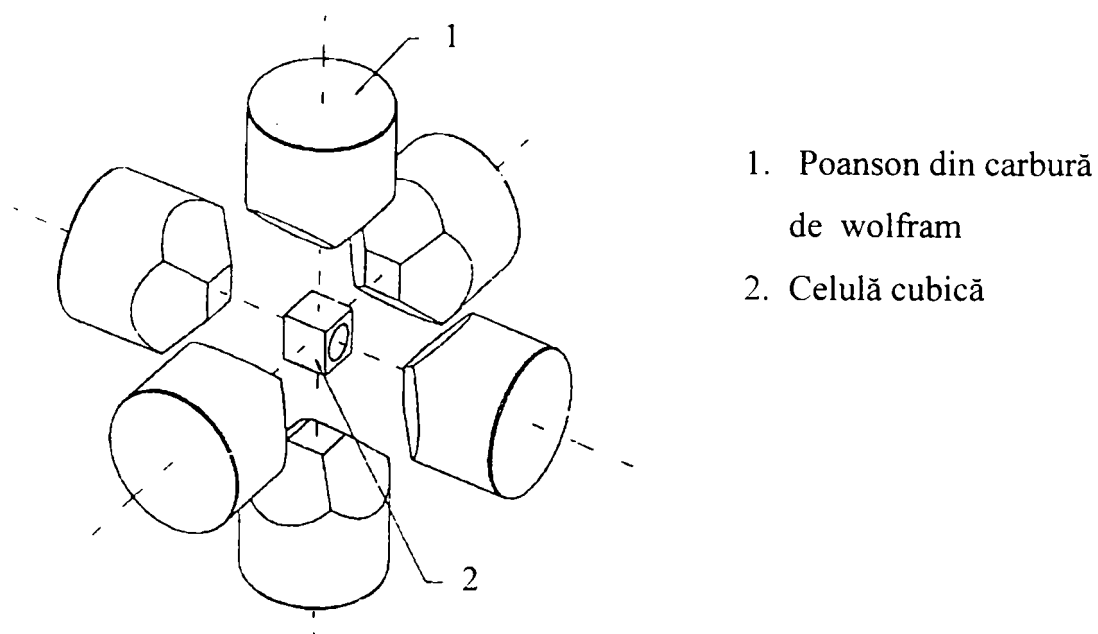


Figura 1.12. Presă cubică utilizată la obținerea NCB [110]

Presa cubică utilizează șase poansoane care aplică simultan o presiune pe toate cele șase fețe ale unui cub în care se găsește tubul cu care se produce încălzirea și de asemenea se găsește încapsulat materialul pentru sinterizarea HBN. Produsele din NCB policristalină (NCBP) sunt caracterizate de conținutul de NCB și de faza secundară care poate fi un metal (Ni-Co), carbură, (TiC, WC) sau ceramică (TiN, AlB₂, AlN) a cărei proporție poate să varieze între 5-70% [66]. La fel ca și compoziția și procesul de obținere a sculelor din NCB poate influența durabilitatea acestora [66].

Faza secundară poate să nu acționeze numai ca un liant ca în cazul carburilor convenționale dar să servească și la umplerea porozităților din structura cristalină și în unele cazuri pot forma o rețea conducătoare de electricitate care să ajute procesul de fabricare al sculelor aşchietoare. De asemenea faza secundară poate să lărgască domeniul de utilizare pentru sculele din nitrură cubică de bor policristalină, în special în cazul operațiilor de finisare. Utilizarea unui suport din carbură permite realizarea unor plăcuțe aşchietoare cu un grad mare de acuratețe dimensională și în principal cu un preț de cost mai scăzut. Ca aditivi și lianți în procesul de sinterizare se folosesc substanțe individuale sau formate din mai mulți compuși. Aceste materiale practic sunt metalele refractare, compuși metalici refractari, ca și metalele din grupa Fe, Al, Si, compuși nemetalici și oxizi. Toți aditivii pot fi împărțiți în mod arbitrar în două grupe: una care conține metale și aliaje care susțin sinterizarea în prezența unei faze lichide și cealaltă grupă constând în particule care au un punct de topire ridicat și care nu se topesc în procesul de sinterizare. Ca aditivi se folosesc compoziții de multicompuși cuprinzând carburi refractare, carbonitruri, nitruri, borați și silicați ai metalelor de tranziție din grupa a IV-a, a V-a și a VI-a ale sistemului periodic al elementelor, amestecurile lor sau topiturile solide.

Majoritatea produselor din NCB au o granulație cuprinsă între 1-3 μm. În tabelul 1.3 sunt prezentate compoziția și mărimea granulației pentru cele mai utilizate produse din NCBP [1].

Tabelul 1.3. Compoziția diferitelor mărci de nitrură cubică de bor [1]

Mărci de NCB	Granulație, [μm]	Conținut de NCB %	Aditivi	Mod de prezentare al plăcuței aşchietoare
Compozit 01	5-20	100	-	Plăcuțe masive din NCB
Compozit 02	0,2 – 5	100	-	Un strat de NCB depus pe un suport de WC și cu un strat intermediar de Co, Al sau W de 30-50 μm grosime
Compozit 10	0,1-0,3	50	50% WBN	Un strat de NCB depus pe un suport de TiC și cu un strat intermediar de Ni, Co, Ti de 100 μm grosime
Amborit & Ambrazit	10	98	2%AlN, AlB	Plăcuțe masive din NCB
DBC 50	1-2	50	40% TiC, 6%WC, 4%AlB ₂ /AlN	Plăcuțe cu un strat de NCB pe un suport de WC-Co și un strat intermediar de aliaje de Ag, Cu, Ti, Rd
DBN 45	0,5-1	45	40%TiN, 5%WC, 4%AlN	-//-
DBC 80	3	80	20%TiC/WC	-//-
Sumiboron BN 100	3	85	15% TiC	NCB depus pe un suport de WC
Sumiboron BN 200	3	60	40% TiC	NCB depus pe un suport de WC
Sumiboron BN 300	0,5	60	40% TiN	-//-
BZN-6000	3	90-95	5-10% Ni/Co	-//-
BZN-8000	1-2	50	50% TiC	-//-
WBN 4	10 CBN 0,02 WBN	40	60%WBN	NCB depus pe un suport de WC fără strat intermediar
WBN 8	10 CBN 0,02 WBN	20	80%WBN	-//-

Metodele de producere ale diferitelor tipuri de scule aşchietoare bazate pe modificările nitrurii de bor sunt prezentate în tabelul 1.4

Tabelul 1.4. Metode de realizare a sculelor așchietoare din NCB [71]

Nr. crt.	Metoda de producere	Mărci și firme producătoare
1	Tranziția HBN în NCB în prezența unui solvent	Compozit 01 - Rusia
2	Tranziția HBN în NCB	Compozit 02 – Institutul pentru Starea Fizică a Solidelor - Belarus
3	Tranziția WBN în NCB	Compozit 10 – Institutul de Materiale Superdure, ISM, Ucraina
4	Sinterizarea pulberii de NCB cu aditivi	Amborit – De Beers Industrial Diamond Division, Africa de Sud Kiborit – Institutul de Materiale Superdure, ISM, Ucraina
5	Realizarea plăcuțelor așchietoare cu două straturi	BZN Compax – General Electric, USA BPK – ISM, Ucraina BN 100 Sumitomo Electric, Japonia DBC 50, DBN 45, DBC 80. - De Beers, Africa de Sud CB 20, CB 7020, Sandvik Coromant, Suedia

În figurile următoare sunt prezentate microstructurile pentru câteva mărci de NCBP [1].



Figura 1.13.
Microstructura Amboritului

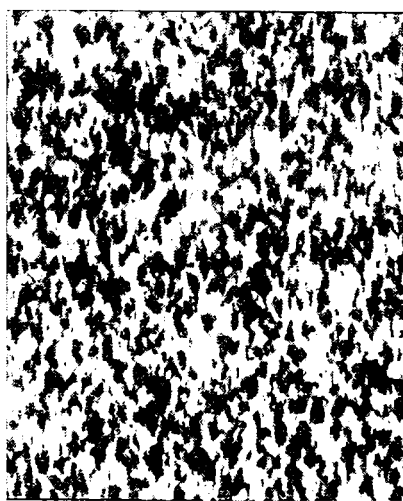


Figura 1.14.
Microstructura DBC 50

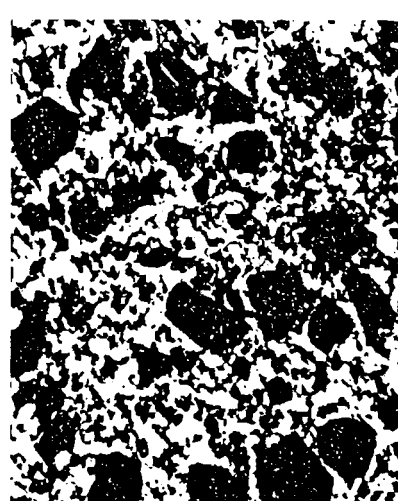


Figura 1.15.
Microstructura WBN 45

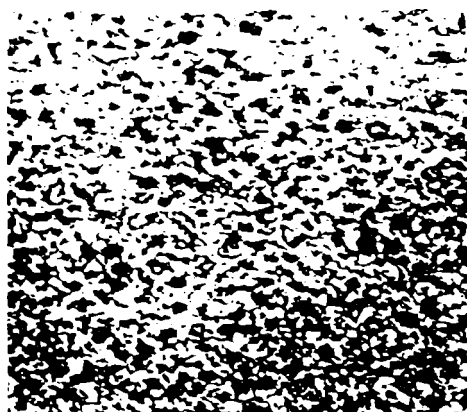


Figura 1.16.

Microstructura BZN-6000

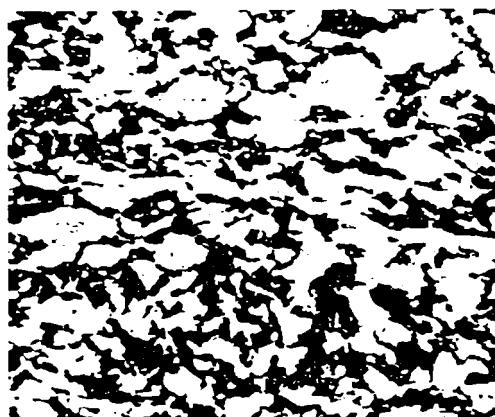


Figura 1.17.

Microstructura BZN-8000

Diversitatea proprietăților materialelor de sculă din NCBP este legată de compoziția amestecului și de tehnologia de fabricare. Starea structurii și compoziția influențează în mod decisiv rezistența sculei și mecanismul uzurii acesteia. Formarea policristalelor de NCB necesită apariția unei multitudini de centrii de cristalizare și este legată de procesul îndelungat de creștere al fiecăruia dintre ele. Procesul obținerii agregatelor din NCB se asigură mai rapid decât creșterea monocristalelor de dimensiuni similare. Tehnologia de prelucrare a sculelor aşchietoare depinde de conductibilitatea electrică a nitrurii cubice de bor policristaline. De exemplu pentru o plăcuță de Kiborit sau Amborit ar fi potrivită utilizarea unei aşchieri cu laser a plăcuțelor dacă aceste scule nu sunt conducătoare de electricitate. În același timp când se prelucrează plăcuțe din DBC50 care este un material cu conductibilitate electrică mare, utilizarea aşchierii prin electroeroziune ar fi cea mai eficientă [63]. Principali producători de NCBP sunt General Electric Superabrasives Co. (USA), De Beers Industrial Diamond Division Ltd. (Marea Britanie), Sumitomo Electric Industries (Japonia), Sandvik Coromant (Suedia), Kyocera (Coreea de Sud).

De asemenea mai sunt o serie de produse din NCBP realizate în Rusia (Compozit 01, Compozit 02, Compozit 10), Ucraina (Kiborit), China (LDP-CF-II).

General Electric Superabrasives Co.

BZN-6000 este primul produs pe bază de NCBP produs de firma G.E. la mijlocul anilor '70 și care se mai utilizează încă. BZN-6000 este un produs cu o mare concentrație de NCB, 90-95% cu o granulație de 3 μm având o fază secundară formată dintr-un aliaj de Ni-Co. Plăcuțele apar sub forma unor discuri plate cu diametrul cuprins între 13-15mm cu un strat de NCB de 0,5 mm grosime depus pe un suport din carbură metalică. Startul de BZN are o duritate de 3500HV la temperatura camerei și o rezistență de rupere

la forfecare de 724 MPa [8]. Aplicațiile recomandate pentru astfel de scule sunt prelucrările de degroșare a oțelurilor durificate cu duritatea peste 45 HRC, fontelor călite, fonte Ni-Cr și unele superaliaje. BZN-8000 conține 40-50% TiC ca fază secundară și o medie a granulației mai mică de 2 μm [6, 55]. Datorită rezistenței mari la rupere prin forfecare BZN-6000 și BZN-8000 se pot folosi și în cazul aşchierii întrerupte.

De Beers Industrial Diamond Division Ltd.

Amborit-ul a fost prima sculă din nitrură cubică de bor policristalină realizată de firma De Beers și constă dintr-o plăcuță solidă de 3,18 cm grosime și cu o mărime a grăunților de 10 μm . Cea de-a doua fază este un amestec de AlB_2 și/sau AlN constituind 2% din volumul total al distribuit în jurul grăunților de NCB și ca urmare Amborit-ul conduce curentul electric [63].

Amborit-ul se recomandă pentru strunjirea fontelor călite, a oțelurilor dure pentru matrițe, fontelor gri în totalitate perlitice și fontelor aliate cu Ni. De asemenea Amborit-ul se pretează la strunjirea și frezarea întreruptă.

DBC50 are o concentrație mai mică în NCB decât Amborit-ul și o granulație de asemenea mai mică (grăunți cu diametrul de 1 μm). Compoziția DBC50 este prezentată în tabelul 1.3. Spre deosebire de Amborit plăcuțele din DBC50 sunt realizate prin depunerea stratului de NCB pe un suport de carbură metalică. DBC50 este mai puțin dur decât Amborit-ul (3000-3500 HV față de 4000 HV) [147] și prezintă o conductibilitate termică de asemenea mai scăzută decât Amborit-ul (44 W/mK^0 față de 110-135 W/mK^0). Aceste caracteristici îl recomandă pentru operațiile de finisare unde este mai rezistent decât Amborit-ul. Acest lucru îl explică Bossom [25] care afirmă că la strunjirea de finisare a oțelurilor călite este generată o cantitate mai mică de căldură, iar conductibilitatea termică mare a Amborit-ului disipă rapid cădura din zona de aşchiere. În acest fel nu mai are loc o „înmuiere” a materialului de prelucrat (care se produce atunci când se atinge temperatura de recristalizare pentru materialul de prelucrat) decât într-o mică măsură, lucru care face să fie mai greu pentru sculă să producă deformarea și forfecarea eficientă a semifabricatului. În consecință Amborit-ul se uzează mai repede.

DBC80 este un produs relativ nou cu o compziție de NCB de 80% și o medie a mărimi grăunților de 3 μm . Faza secundară este compusă din TiC și WC și la fel ca la DBC50 stratul de NCB este depus pe un suport de carbură de wolfram. DBC80 este utilizat pentru operații de finisare a materialelor feroase durificate.

DBN45 este cel mai nou produs al firmei De Beers, 1999/2000 și este recomandat pentru operații de finisare, la fel ca și DBC50. DNB45 se caracterizează prin faptul că grăunții au dimensiuni submicronice și prezintă o tenacitate ridicată, fapt ce îi permite să lucreze în condiții de aşchiere întreruptă. Conținutul de NCB la acest produs este de 45%, iar ca fază secundară este folosit TiN. La fel ca la DBC50 și DBC80 startul de NCB este depus pe un suport de carbură de wolfram.

Sumitomo Electric Industries

Produsele NCB ale firmei se vând sub denumirea comercială de Sumiboron. Există nouă tipuri de produse Sumiboron, toate utilizând un liant ceramic și un strat suport din carbură (BN100, BN200, BN300, BNX20, BN520, BN550, BNX3, BNX4). Compoziția unora din aceste produse a fost prezentată în tabelul 1.3. BN100 are o duritate la temperatura camerei de 4500 HV și o rezistență la rupere la forfecare de 790 MPa [92]. Se recomandă la prelucrarea superaliajelor pe bază de Ni-Co și a aliajelor feroase călite. BN200 are o duritate la temperatura camerei de 3100 HV, rezistență la rupere la forfecare de 790 MPa și o conductibilitate termică de 38 W/mK^0 [126]. BN200 conține un procent de cca. 40%TiN. Acest produs este recomandat pentru prelucrarea cu viteză mare a oțelurilor durificate, a fontei călite și a aliajelor rezistente la temperaturi mari. BN300 este caracterizat prin faptul că mărimea grăunților este în medie de $0,5 \mu\text{m}$ și are un conținut de 40%TiN. Deși nu este la fel de dur ca BN100 și are numai 3500 HV, prezintă în schimb o mare rezistență la rupere prin forfecare și anume 1080 MPa fiind potrivit pentru aşchiera întreruptă a oțelurilor călite până la 70 HRC.

SPK Cerasiv

Alte produse disponibile pe piața europeană includ Wurbon-ul comercializat de SPK Cerasiv. Wurbon-ul se obține din HBN la temperaturi de 3200^0 C utilizând compresiunea printr-o undă de șoc [149]. În afară de grăunții mari de NCB ($10 \mu\text{m}$) Wurbon-ul mai conține și wurtzit. Produsele se caracterizează prin durități cuprinse între 3500-3800 HV și conductibilitate termică în jur de 60 W/mK^0 . Wurbon-ul WBN4, WBN5, WBN8 sunt mărcile oferite de SPK Cerasiv și produse de Hitachi Tool Engineering. Vel [138] susține că limitele în care WBN este stabil din punct de vedere termodinamic nu sunt încă definite foarte clar. În tabelul 1.5 sunt prezentate duritatea și reziliența pentru produsele din gama Wurbon în funcție de conținutul de WBN.

Tabel 1.5. Proprietățile produselor WBN [149]

Denumire produs / Proprietăți	WBN4	WBN5	WBN8
Conținutul de WBN [%]	60	50	20
Duritatea [HV]	3000	3500	4000
Reziliența K_{1c} [MPam ^{1/2}]	13	15	22

Alte produse care includ Wurbon-ul sunt Hexanite-R și PTNB, realizate în Rusia.

Sandvik Coromant Ltd.

Firma Sandvik Coromant comercializează următoarele tipuri de NCBP: CB20, CB7020, CB50, CB 7050 care apar sub forma unor plăcuțe de forma triunghiulară, pătrată sau rotundă, care au depus stratul de NCB pe un suport de carbură în colțuri pe ambele fețe. CB20 și CB7020 se recomandă la strunjirea medie și de finisare a oțelurilor durificate iar CB50 și CB7050 la prelucrarea fontelor.

Proprietățile materialelor de sculă extradure

Dintre proprietățile materialelor de sculă extradure înțelegând prin acestea ceramicile și NCB cele mai importante sunt următoarele:

Duritate mare

Pentru a obține o bună formațiune de așchie și un proces de așchiere economic este necesar ca diferența de duritate dintre sculă și semifabricat să fie cât mai mare. Duritatea mare a materialelor așchiate impune limite de duritate minimală pentru sculele așchietoare.

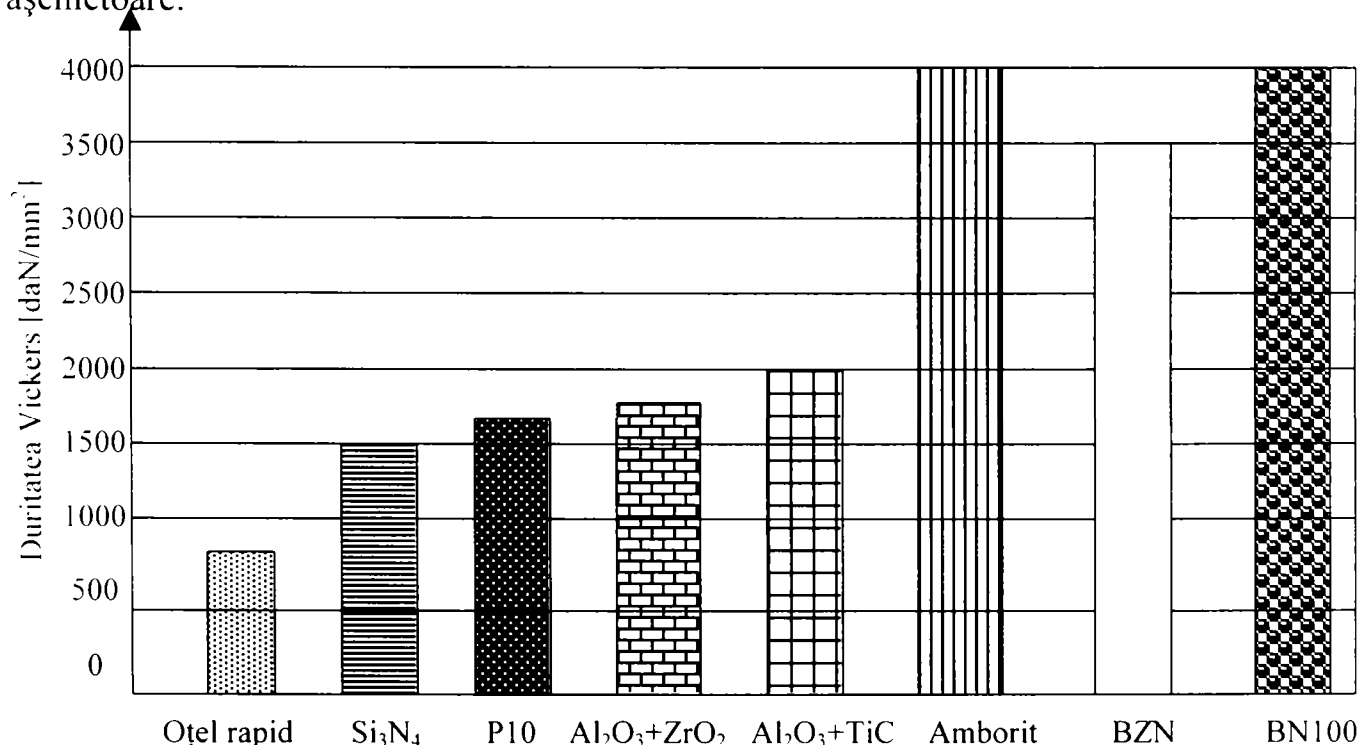


Figura 1.18. Duritățile diferitelor materiale extradure comparativ cu carbura și oțelul rapid

Datorită durității mari sculele din materiale ceramice și nitrură cubică de bor policristalină își păstrează timp îndelungat muchiile așchietoare intacte sau în limite acceptabile de uzură, lucru care conferă pieselor prelucrate cu aceste scule o mare precizie dimensională. În cazul sculelor din NCBP, duritatea sculelor crește odată cu creșterea conținutului de NCB așa cum se poate vedea și din figura 1.19

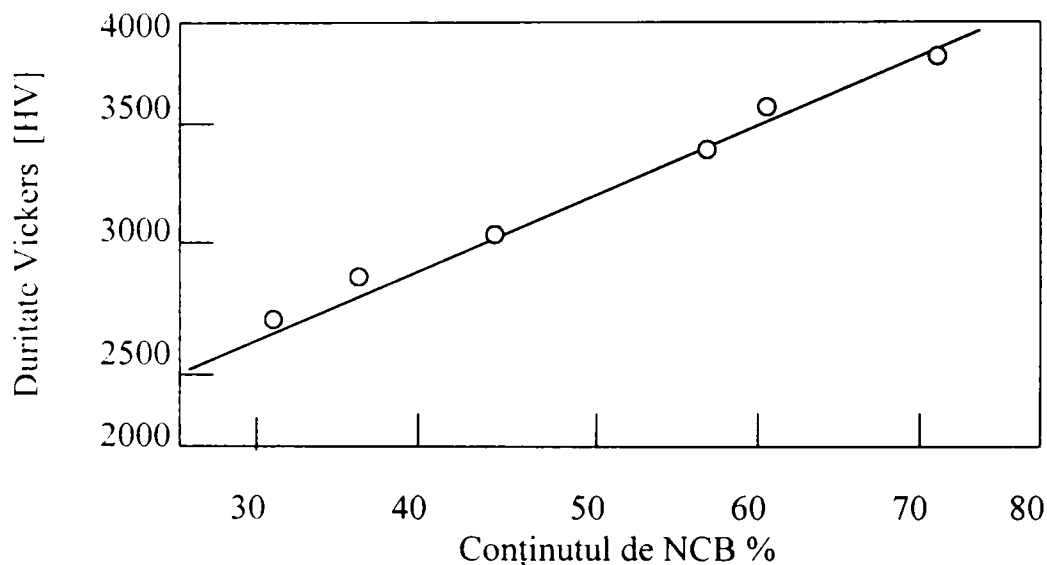


Figura 1.19. Variația durității sculelor din NCB în funcție de procentul de NCB [127]

O serie de cercetători [127] arată că odată cu creșterea procentului de NCB are loc o creștere a rezistenței la sfărâmare a muchiei așchietoare. Pe de altă parte creșterea conținutului de liant conduce la o îmbunătățire substanțială a tenacității. Pentru acele produse care conțin în plus față de NCB și WBN se observă o creștere a rezistenței la șocuri dar cu prețul scăderii durității.

Duritate mare la temperaturi ridicate

În procesul de prelucrare prin așchiere a materialelor cu duritate mare (45-65 HRC) fenomenele de deformare și de fricțiune generează temperaturi mari care cresc în funcție de viteza de așchiere. Aceste temperaturi pot ajunge la 750-800⁰C – figura 1.20 [148].

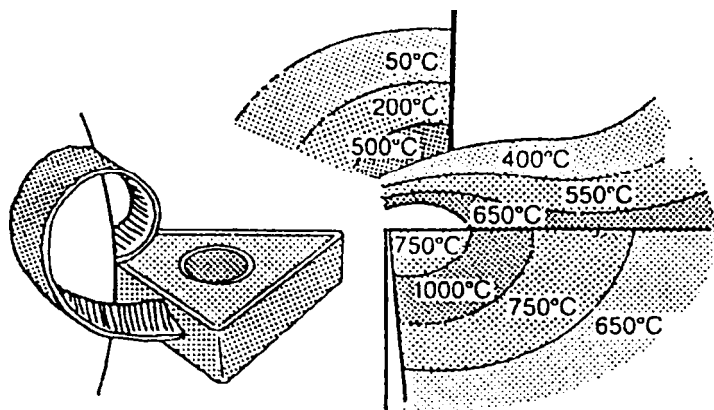


Figura 1.20. Repartiția temperaturii la nivelul muchiei așchietoare

Dacă în urma acestei temperaturi ridicate materialul sculei își pierde duritatea prelucrarea devine extrem de dificilă. Duritatea la temperatura de 1000°C , a materialelor ceramice și cea a nitrurii cubice de bor policristaline este cuprinsă în gama 700-1800 HV față de carburi a căror duritate nu depășește 400 HV la 1000°C [71].

Tabel 1.6. Duritățile diferitelor materiale de sculă

Tipul materialului	Carbura de wolfram WC	Ceramică pe bază de Al_2O_3	Ceramică mixtă $65\%\text{Al}_2\text{O}_3+$ $30\%\text{TiC}+$ $5\%\text{ZrO}_2$	Ceramică cu whiskers-uri de SiC $75\%\text{Al}_2\text{O}_3+$ $25\%\text{SiC}$	SIALON $77\%\text{Si}_3\text{N}_4+$ $13\%\text{Al}_2\text{O}_3+$ $10\%\text{Y}_2\text{O}_3$	Amborit $98\%\text{CBN}+$ $2\%\text{AlB}_2\cdot\text{AlN}$
Duritatea Vickers la 20°C [HV]	1700	1700	1900	2000	1600	4000
Duritatea Vickers la 1000°C [HV]	400	650	800	-	900	1800

Rezistența la compresiune și încovoiere

Solicitările din timpul procesului de așchiere supun vârful sculei la compresiune și încovoiere. Din acest motiv un material de sculă trebuie să aibă rezistență mare la compresiune și la încovoiere. Acești factori determină capacitatea de așchiere a unei muchii așchietoare, influențează forma și geometria așchiei și delimitează nivelul eforturilor de așchiere rezultante. În figura 1.21. este comparată rezistența la compresiune și la încovoiere a diferitelor materiale de sculă.

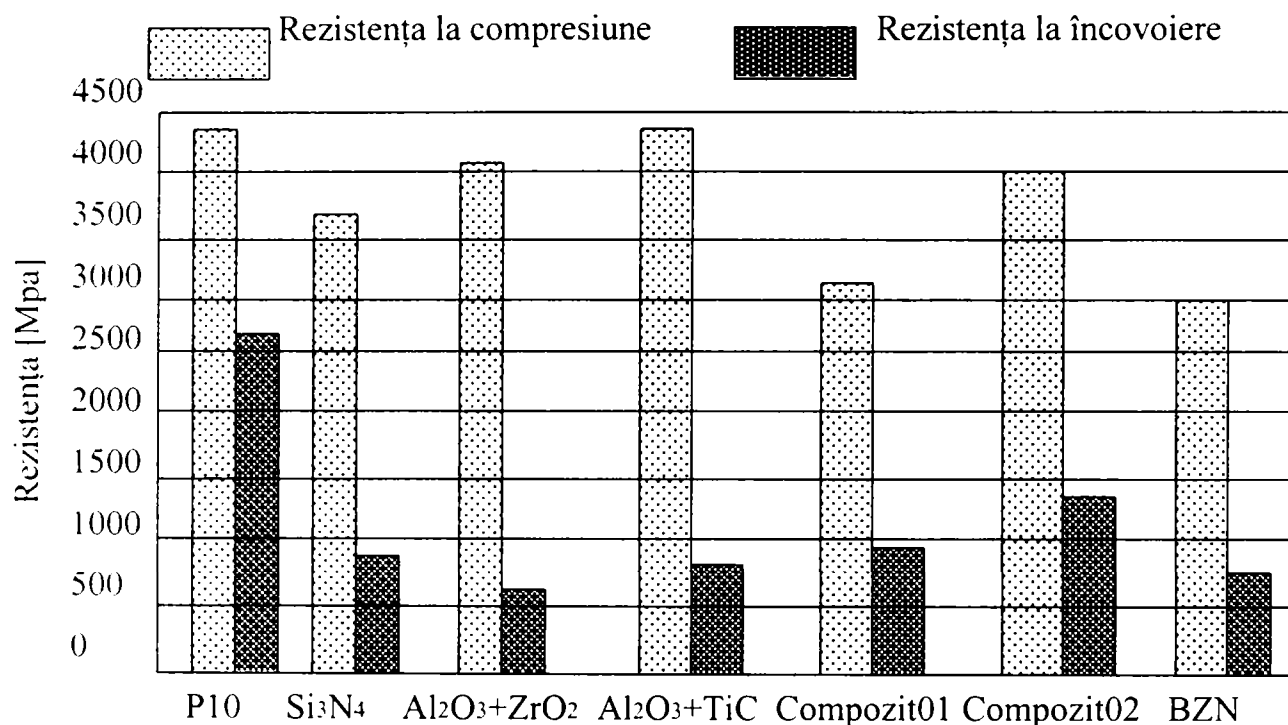


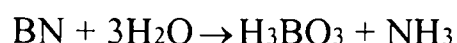
Figura 1.21. Valori ale rezistenței la compresiune și încovoiere pentru diferite materiale de sculă [31]

Din figura 1.21 se poate observa că rezistența la compresiune și la încovoiere a ceramicelor și a NCB este mai mică cu cca. 45% în comparație cu cea a carburilor ceea ce face ca aceste materiale să fie fragile și să nu reziste la șocuri mecanice

Stabilitate chimică și termică

Reacțiile chimice care au loc pe suprafața de contact dintre sculă și așchie sunt fenomene de uzură care se produc la temperaturi înalte. De aceea o bună rezistență la oxidare și o slabă reacție față de alte materiale cu compoziție diferită reprezintă condiții indispensabile pe care trebuie să le îndeplinească materialele ceramice pentru sculele așchietoare. Al₂O₃ este oxidul cel mai stabil la căldura produsă în timpul așchierii [67]. În comparație cu ceilalți oxizi prezintă rezistența mecanică cea mai mare și o foarte bună stabilitate termică în atmosferă liberă până la temperaturi de cca. 2000⁰C [73]. Aceste proprietăți conferă o rezistență mare la uzura prin difuzie a materialelor așchietoare pe bază de Al₂O₃.

NCB prezintă o stabilitate termică ridicată în aer și în mediu bogat oxigenat până la temperaturi de 1300⁰C în comparație cu diamantul (600⁰C) [97]. La temperaturi ridicate NCB se transformă în vapori după relația:



Spre deosebire de diamant care odată cu creșterea temperaturii se uzează prin grafitizare. NCB se depreciază incomparabil mai puțin. Dacă spre temperatura de 800°C uzura diamantului tinde spre 100%, uzura la NCB la 1300°C nu depășește 40% [41]. În concluzie NCB poate fi considerată din punct de vedere chimic inertă până la temperaturi de $1000\text{-}1200^{\circ}\text{C}$. Reacțiile chimice cu metalele au loc numai în vid și la temperaturi ridicate după cum urmează: la 1400°C cu Ni, Fe și Co; la 1300°C cu Al; la 1200°C cu Cu, Ag, Au, Ge, Sn [32]. NCB prezintă o inerție totală față de bazele și acizii uzuali, iar cu oxizii reacționează numai în vid [32].

Rezistența la șocuri termice

Cercetările au demonstrat rezistența ridicată la șocuri termice a materialelor policristaline pe bază de NCB cum sunt Elbor-R (Compozit 01) și PTNB. În acest caz apariția microfisurilor datorate șocurilor termice care au constat în încălzirea la 600°C și răcirea bruscă în apă la 20°C a fost observată abia după 180-200 de astfel de cicluri în cazul Elbor-R și după 300 astfel de cicluri pentru PTNB [54]. Aceste valori depășesc cu mult pe cele ale materialelor ceramice și carburilor cunoscute. În tabelul 1.7 este prezentată comparativ rezistența la șocuri termice dintre NCB, materiale ceramice și carburi.

Tabel 1.7. Încercări ale diferitelor materiale de sculă privind comportarea la șocuri termice [54]

Tipul materialului de sculă	Material mineralo-ceramic	Carbură T15K6	Carbură VK8	Elbor-R	PTNB
Nr. de cicluri de încălzire-răcire până la formarea fisurii	5-8	15-20	60-90	180-200	300

Se poate observa că NCB este superioară atât carburilor cât și materialelor ceramice în ceea ce privește rezistența la șocuri termice.

Conductibilitatea termică

Conductibilitatea termică a sculelor din nitrură cubică de bor crește odată cu creșterea temperaturii [36]. Deși conductibilitatea termică a NCB și a ceramicelor oxidice (Al_2O_3) este aproximativ aceeași la temperatura camerei, diferența dintre ele devine din ce în ce mai mare la temperaturi ridicate.

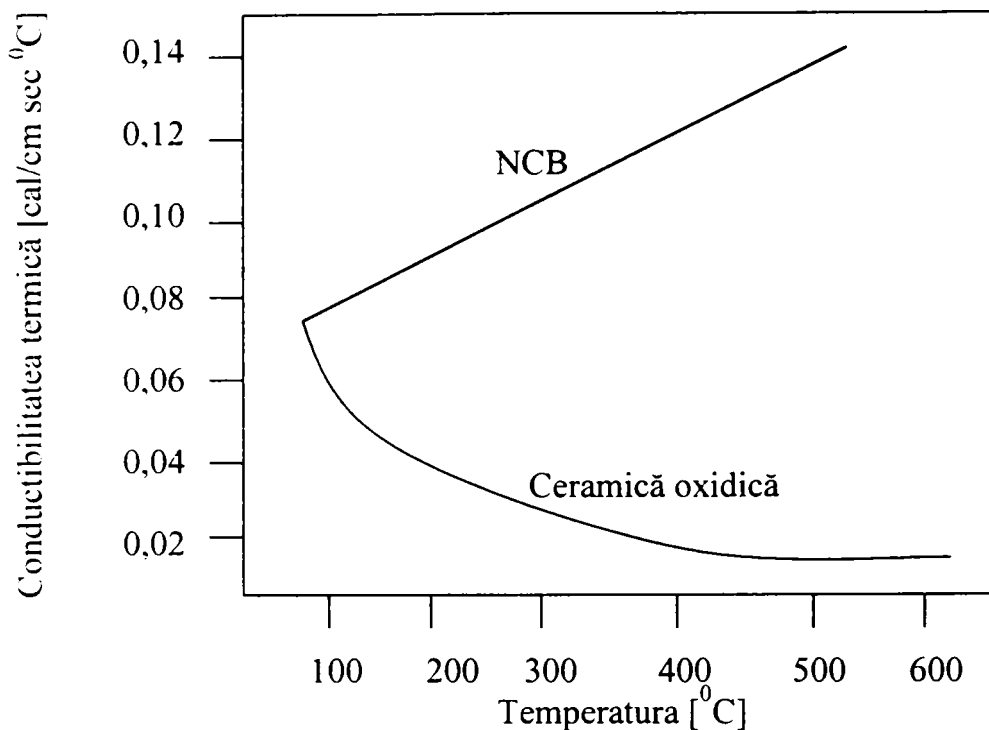


Figura 1.22. Influența temperaturii asupra conductibilității termice

Proprietățile fizico-mecanice ale sculelor aşchietoare din NCB și materiale ceramice prezintă variații semnificative în funcție de mărimea grăunților, de distribuția lor, și de catalizatorii utilizați în procesul de sinteză [54, 67, 97, 32]. În tabelul 1.8 sunt date proprietățile fizico-mecanice pentru câteva materiale de sculă din NCB și ceramice.

Tabelul 1.8. Proprietățile fizico-mecanice pentru diferite materiale extradure de sculă

Proprietate	Unit. de măsură	Ceramică Al ₂ O ₃	Ceramică Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Ceramică Al ₂ O ₃ +TiC	Compozit 01	Compozit 02	Amborit	BZN	BN 200	DBC 50	DBC 80	DBN 45
Densitate	g·cm ⁻³	3,9	4	4,25	3,3-3,4	3,4-3,5	3,37	3,48	4,2	4,4	4,88	4,6
Mărimea grăunților	μm	3,5	1,8	1,5	5-20	0,1-0,3	10	1-3	3	1-2	3	0,5-1
Modul de elast.long.	GPa	390	380	360	680-720	650-780	680-720	700	814	587	649	594
Duritate Vickers	daN/mm ²	2100	1700	2000	3200/3800	3000/3800	4000	4000/4500	3000/3500	2750	3000/3500	3000
Rezist. la compres.	Mpa	4000	4000	4300	2250/3150	3500	-	3000	-	-	-	-
Rezist. la încov.	Mpa	400	500	600	700/980	1300	570	620	470	-	540	-
Rezist la tracțiune	Mpa	300	350	350	430/490	260/390	450	-	450	430	460	450
Conductib termică	W/mK ⁰	25	23	38	60-80	30-60	110-135	80-90	24-36	44	85	45
Coef. de dilat. liniară	10 ⁻⁶ K ⁻¹	7,8	7,8	7,7	-	-	4,9	4,57	4,7	4,7	4,6	4,7

Așa cum se poate observa și din tabelul prezentat anterior, datorită valorilor mai mari ale durității sculelor pe bază de NCB față de cele din materiale ceramice, procesul de așchiere al materialelor cu prelucrabilitate redusă, atunci când se utilizează scule din NCB decurge în condiții mai bune. De asemenea valorile mai mari ale conductibilității termice ale sculelor din NCB față de cele din materiale ceramice face ca primele să genereze o cantitate de căldură mai scăzută la viteze mari de așchiere datorită procentului mare de căldură disipată și în consecință să fie mai rezistente la șocuri termice.

Un alt avantaj al sculelor din NCB față de sculele din ceramice constă în valorile mai mari ale rezistenței la încovoiere ceea ce le conferă o rezistență sporită la șocuri mecanice. Totuși rezistența la șocuri mecanice rămâne mică la sculele din NCB față de sculele din carburi și ca atare se recomandă pe cât posibil evitarea șocurilor mecanice în procesul de așchiere.

Analizând proprietățile pe care le au aceste materiale (prezentate anterior) se poate aprecia că se pretează foarte bine pentru realizarea sculelor așchietoare, pentru prelucrarea oțelurilor și fontelor cu duritate mare (45-65HRC) contribuind la îmbunătățirea prelucrabilității prin așchiere.

1.4. Caracteristicile aşchierii oțelurilor cu duritate mare (45-65 HRC)

1.4.1. Forțele de aşchiere

După unii autori [95] forțele de aşchiere la prelucrarea materialelor dure nu sunt cu mult mai mari decât în cazul aşchierii oțelurilor cu durități până la 40 HRC. Ei explică acest lucru prin faptul că deformația plastică a aşchiei în cazul prelucrării unor oțeluri durificate este mai redusă deoarece detașarea aşchiei are loc prin fisurarea elementului de aşchie dată fiind fragilitatea ridicată a oțelurilor cu durități de peste 50 HRC și datorită faptului că aria de contact dintre sculă și semifabricat este relativ redusă ceea ce conduce la forțe de frecare reduse. Un alt aspect care contribuie la obținerea unor forțe de aşchiere nu foarte mari este dat și de coeficientul de frecare redus dintre PCBN și oțelurile călite. În tabelul 1.9. sunt dați coeficienții de frecare pentru nitrura cubică de bor policristalină la frecarea cu alte materiale [71].

Tabel 1.9. Coeficienții de frecare pentru NCB cu diferite materiale [71]

Materialul cu care se realizează contactul	NCBP cu 100% NCB	NCBP cu 50% NCB
Oțel de rulmenți, 62-64 HRC	0,12 - 0,31	0,1- 0,21
Oțel de scule, 62-64 HRC	0,2 - 0,4	0,14 - 0,31
Oțel rapid, 62-64 HRC	0,14 - 0,2	-
Oțel carbon, 50 HRC	-	0,26 - 0,31

Cu alte cuvinte indiferent de conținutul de NCB pe care îl posedă scula aşchietoare pe bază de nitrură cubică de bor, coeficienții de frecare se înscriu în limitele 0,1-0,4, pe când coeficienții de frecare în cazul utilizării sculelor din carburi metalice sunt în gama 0,4-0,6 [71].

Cu toate acestea, forțele de aşchiere înregistrate la prelucrarea materialelor dure sunt cu aproximativ 30-80% mai mari decât în cazul aşchierii materialelor așa-zise convenționale [24]. König [76] susține că forțele specifice de aşchiere care apar la strunjirea dură sunt sensibil mai mari decât cele obținute la strunjirea convențională. Așa cum se poate observa din figura 1.23, există o creștere a forței F_c cu până la 50%, și a forțelor F_p și F_f cu 100% în cazul strunjirii unui material cu duritatea 62 HRC față de un material cu duritatea 32 HRC [76]. Faptul că la strunjirea dură se folosesc materiale de sculă precum ceramicele pe bază de Al_2O_3 și NCBP care au o rezistență mai bună la compresiune decât la încovoiere, conduce la utilizarea unor scule cu unghiuri de degajare negative, fapt ce

favorizează creșterea componentei radiale F_p a forței de așchiere, care devine mai mare decât F_c [119, 105, 11, 19, 128, 38, 70].

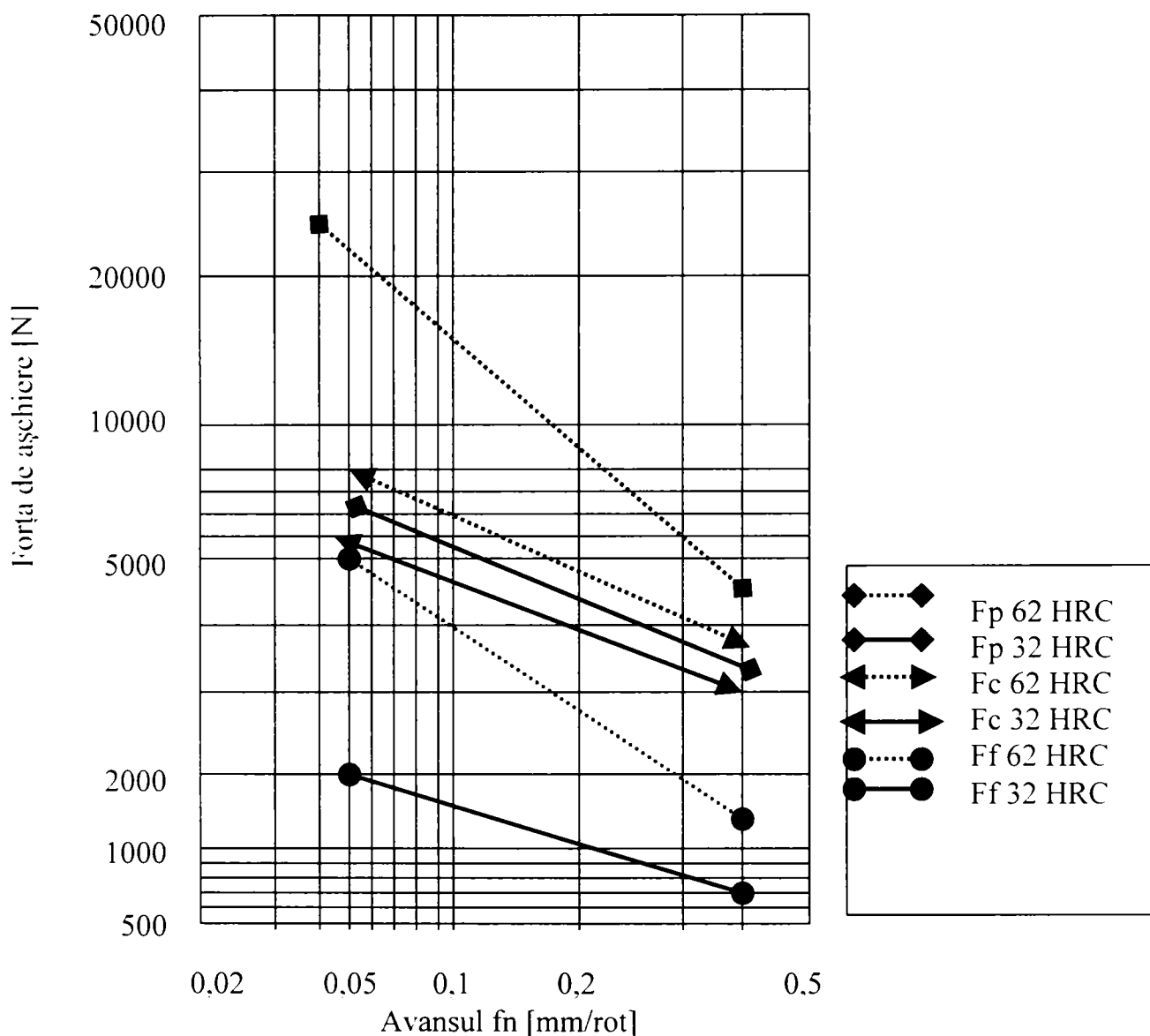


Figura 1.23. Influența durității materialului asupra forțelor de așchiere [76]

În ciuda forțelor de așchiere mai reduse la utilizarea sculelor neșanfrenate, se recomandă un șanfren al muchiei așchietoare în vederea repartizării uniforme a forței radiale de-a lungul muchiei așchietoare și pentru creșterea rezistenței muchiei așchietoare. O rază mare la vârful sculei și un unghi de atac principal mare îmbunătățesc rezistența sculei dar conduc la creșterea componentei F_p a forței de așchiere. [41, 125] Influența unghiului de atac principal asupra componentelor F_p și F_f precum și a rezultantei acestora este prezentată în figura 1.24.

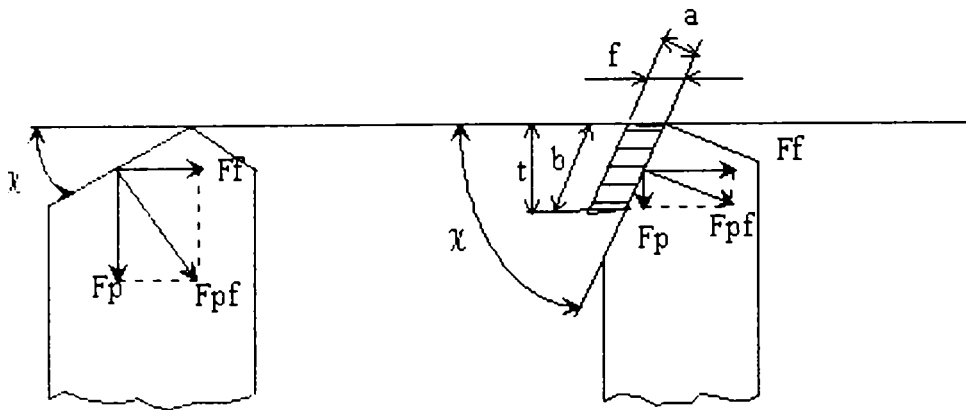


Figura 1.24. Influența unghiului de atac principal asupra forțelor de de așchiere

Unghiul χ_r de atac principal este dat de relația:

$$\chi_r = \arccos \frac{r_\epsilon - a_p}{r_\epsilon} \tag{1.1}$$

Deci factorii care influențează χ_r sunt r_ϵ și a_p . Așa cum se vede din figura 1.23 dacă χ_r scade are loc o scădere componentei orizontale a forței de așchiere F_{pf} , deci F_f scade, iar F_p crește. König și Wand [77] au arătat că în timpul așchierii continue a unui oțel de rulment cu duritatea 60 HRC utilizând scule din NCBP, forțele de așchiere au scăzut odată cu creșterea vitezei de așchiere până la 200 m/min, după care au rămas constante. Componenta tangențială F_c și cea axială F_f prezintă o creștere aproape liniară odată cu creșterea adâncimii de așchiere. Creșterea avansului duce la creșterea semnificativă a lui F_p și F_f . Un factor care influențează în mod decisiv forțele de așchiere îl reprezintă mărimea uzurii V_B pe fața de așezare. În figurile 1.25 și 1.26 este prezentată influența pe care o exercită uzura V_B asupra celor trei componente ale forței de așchiere, F_f , F_p , F_c .

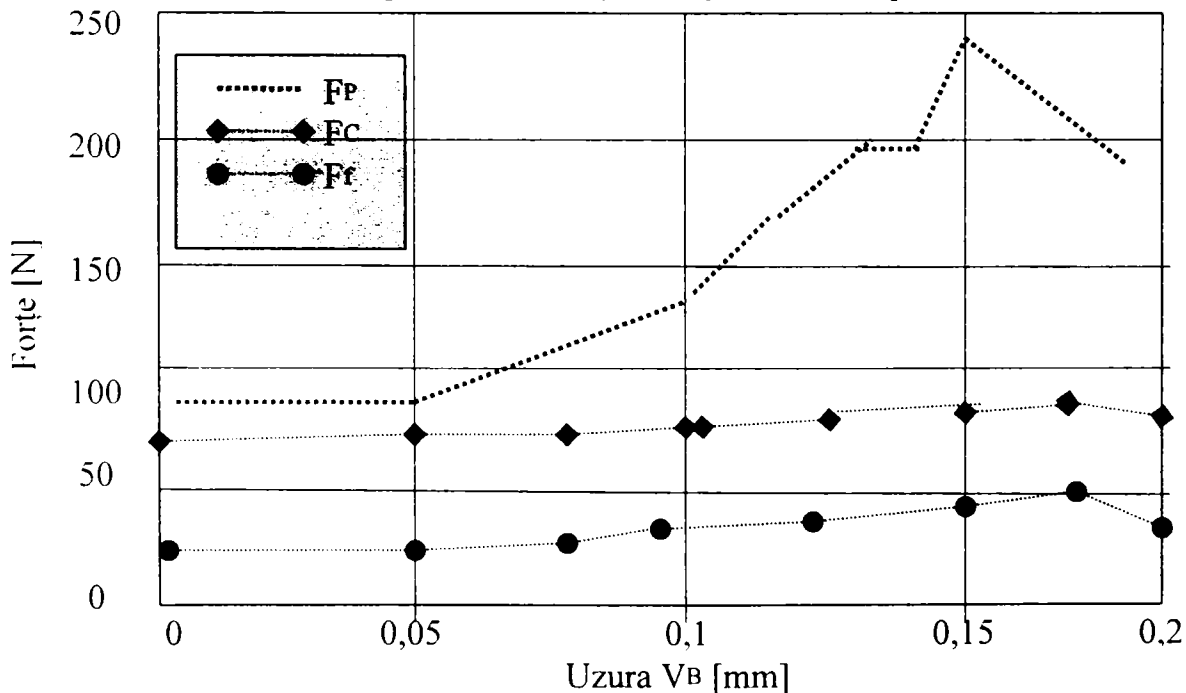


Figura 1.25. Variația forțelor de așchiere în funcție de uzura V_B la strunjirea oțelului H12F1 cu duritatea 62-64 HRC, cu scula din ceramică, CC650 [11]

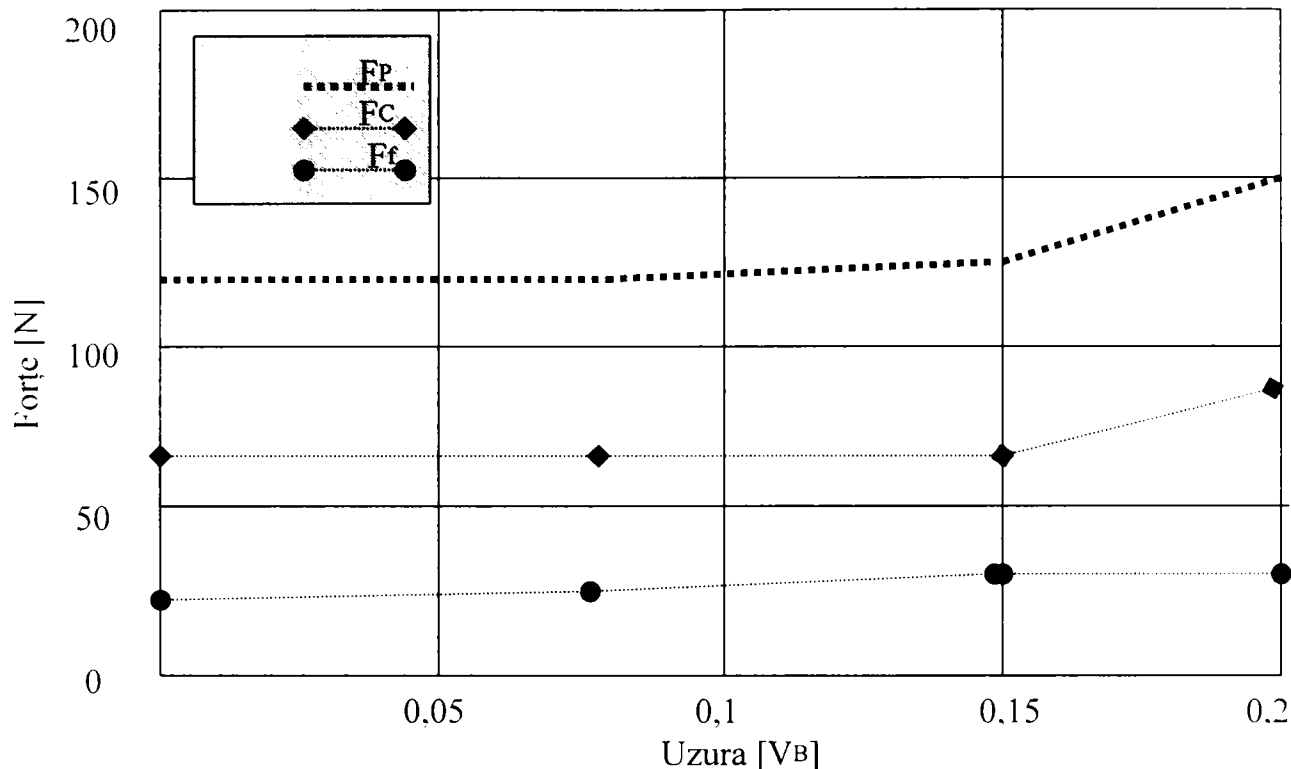


Figura 1.26. Variația forțelor de așchiere în funcție de uzura V_B la strunjirea oțelului H12F1 cu duritatea 62-64 HRC, cu scula din NCB, CB7020 [11]

În cazul sculei din CC650 se observă o creștere semnificativă a componentei F_p a forței de așchiere atunci când uzura depășește $V_B=0,1$ mm, atingând valoarea maximă $F_p=240$ N, pentru $V_B=0,2$ mm. După aceasta se observă diminuarea componentei F_p a forței de așchiere care poate fi explicată prin micșorarea suprafeței de contact dintre sculă și semifabricat ca urmare a evoluției uzurii de crater. Evoluția celorlalte două componente ale forței de așchiere F_c și F_f este aproximativ constantă. Din figura 1.25 se poate observa că în cazul strunjirii cu plăcuța din CBN, CB7020 forțele de așchiere își mențin o valoare aproximativ constantă până când uzura V_B atinge valoarea $V_B=0,15$ mm, moment în care este sesizată o creștere a tuturor componentelor forței de așchiere după cum urmează: $F_p=150$ N, $F_c=80$ N, $F_f=30$ N. În ambele cazuri se observă că F_p este superioară ca valoare celorlalte două componente F_c și F_f ale forței de așchiere.

1.4.2. Aspecte legate de fenomenele termice ce însoțesc procesul de așchiere

Căldura degajată în procesul de așchiere a fost studiată folosind atât metode experimentale cât și analitice. Căldura care apare în procesul de așchiere se datorează în primul rând deformărilor plastice necesare detașării materialului sub formă de așchii și în al doilea rând datorită frecării dintre sculă și semifabricat, respectiv sculă și așchie [112]. Shaw arată că aproximativ 90% din căldura degajată în procesul de așchiere este disipată

în așchie, 5% în scula așchietoare și 5% în piesă. Căldura degajată în procesul de așchiere poate fi exprimată cu relația:

$$Q_c = Q_{pl} + Q_r + Q_f, \quad Q_{pl} + Q_r = Q_s \quad (1.2)$$

Q_c – cantitatea totală de căldură degajată în procesul de așchiere,

Q_{pl} – căldura generată în procesul de așchiere datorită procesului de deformare plastică în zona formării așchiei,

Q_r – căldura generată de frecarea dintre așchie și suprafața de degajare a sculei așchietoare, cât și cea generată de deformarea plastică secundară.

Q_f – căldura datorată frecării dintre fața de așezare a sculei și semifabricat.

Căldura produsă în procesul de deformare plastică și cea datorată frecării dintre fața de degajare a sculei și așchie poate fi calculată ținând cont de energia eliberată în timpul procesului de așchiere folosind modelul lui Ernst și Merchant [86].

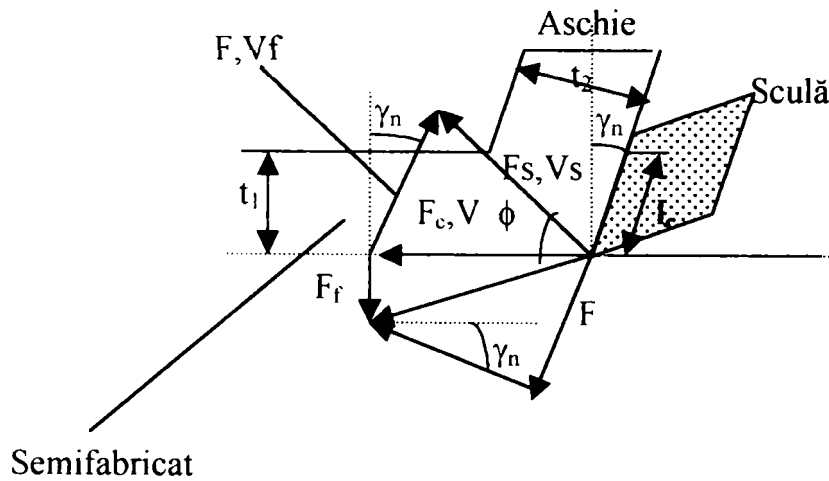


Figura 1.27. Diagrama de forță și viteză folosită la calculul căldurii generate în așchiera ortogonală [86]

$$Q_{pl} + Q_r = Q_s, \quad (1.3)$$

$$Q_s = \frac{F_s V_s}{w t_1 \csc \phi} \times \frac{10^6}{60}, \quad (1.4)$$

$$V_s = \frac{V}{\cos \phi} \text{ pentru unghiuri } \gamma_n \text{ mici}, \quad (1.5)$$

$$F_s = F_f \cos \gamma_n + F_c \sin \gamma_n, \quad (1.6)$$

$$V_f = V \frac{t_1}{t_2}, \quad (1.7)$$

$$\phi = \text{arcctg} \frac{t_2 - \sin \gamma_n}{t_1 \cos \gamma_n}, \quad (1.8)$$

$$Q_f = \frac{FV_f}{l_c b} \times \frac{10^\circ}{60}, \text{ unde:} \quad (1.9)$$

F_s – componenta forței de-a lungul planului de forfecare, [N],

V_s – viteza relativă dintre așchie și semifabricat, [m/min],

W – lățimea de așchiere, [mm],

b – lățimea așchiei, [mm],

$\text{csc } \phi$ - cosecanta unghiului ϕ al planului de forfecare,

V – viteza de așchiere, [m/min],

F_c – forța tangențială, [N],

F – forța de frecare de-a lungul vârfului sculei [N],

V_f – viteza relativă dintre așchie și sculă, [m/min],

F_f – forța axială, [N],

γ_n – unghiul de degajare,

t_1 – grosimea așchiei nedetașate, [mm],

t_2 – grosimea medie a așchiei, [mm],

l_c – lungimea de contact sculă așchie, [mm].

Odată cu creșterea vitezei de așchiere se observă la început o creștere a componentei Q_{pl} urmată de o descreștere lucru ce poate fi explicat printr-un efect slab al vitezei de așchiere asupra tensiunilor în planul de forfecare ca și de reducerea considerabilă a tensiunilor pe fața de degajare și creșterea unghiului de forfecare al așchiei [139]. Se pare că termenul Q_{pl} depinde de viteza de așchiere într-o măsură mult mai mare decât ceilalți doi termeni Q_r și Q_f .

Un alt model dezvoltat de Trigger și Chao [135] pleacă de la premiza că 10-15% din energia de deformare este păstrată în așchie ca energie latentă și că 10% din căldura totală degajată rămâne în semifabricat. Ei propun două ecuații pentru calculul temperaturii așchiei atunci când părăsește zona de forfecare T_s și respectiv temperatura datorată frecării dintre așchie și sculă T_f .

$$T_{S-T_0} = \frac{[F_c V(1 - B_1) - F V_f]}{C \rho V f_a} \cdot 10^6 \quad (1.10) \quad [112]$$

$$T_f - T_0 = \frac{B_2}{9(5\pi)^{1/2}} \cdot \frac{F}{k \cdot m} \cdot \left[\frac{k V_f}{60 l_c} \right] \cdot 10^6 \quad (1.11) \quad [112]$$

T_S – temperatura aşchiei când părăsește zona de forfecare, $[K^0]$,

T_f – temperatura datorată frecării dintre aşchie și sculă, $[K^0]$,

T_0 – temperatura camerei, $[K^0]$,

A_1 – cota-parte din energia de deformare transformată în căldură,

B_1 – procentul din căldura ce rămâne în semifabricat,

C – căldura specifică a aşchiei, $[J/kgK^0]$,

ρ - densitatea materialului aşchiei, $[kg/m^3]$,

F_c – forța tangențială, $[N]$,

F – forța de frecare de-a lungul sculei, $[N]$,

V_f – viteza relativă dintre aşchie și sculă, $[m/min]$,

V – viteza de aşchiere, $[m/min]$,

B_2 – cota-parte din căldura degajată sub formă de aşchii,

k – capacitatea de difuzie a aşchiei, $k = \frac{K}{C \cdot \rho}$, $[m^2/s]$, (1.12)

m - lățimea contactului sculă aşchie, $[mm]$,

l_c – lungimea contactului sculă aşchie, $[mm]$.

Temperatura finală din zona de aşchiere se calculează însumând T_S și T_f .

Principalele dezavantaje ale metodelor menționate anterior sunt legate de falsele prezumții făcute cu privire la modul de operare (aşchiere ortogonală) și la faptul că aşchia a fost considerată continuă. S-a arătat [127] că temperatura la aşchiera convențională (oblică) este cu 7-10% mai mare decât în cazul aşchierii ortogonale. Dintre metodele de determinare a temperaturii în procesul de aşchiere trebuie amintite:

- măsurarea temperaturii utilizând termocuplele
- utilizarea vopselelor fotosensibile,
- utilizarea prafurilor cu punct de topire constant,
- metode metalografice
- utilizarea termografiei.

Fiecare dintre aceste metode prezintă avantaje și dezavantaje și utilizarea uneia sau alteia este dictată de obiectul cercetării și de limitările impuse de echipamentele existente.

1.4.3. Uzura și durabilitatea sculelor din materiale ceramice și nitrură cubică de bor policristalină

Uzura sculelor așchietoare reprezintă un complex de fenomene termodinamice, care este guvernat simultan de câteva mecanisme și anume: abraziunea, adeziunea, oboseala, difuzia, și alte mecanisme chimice (figura 1.28). Aceste mecanisme de producere a uzurii sculelor așchietoare se manifestă treptat sau simultan în funcție de natura materialelor în contact și de condițiile de interacțiune. Se consideră că uzura sculei așchietoare depinde de temperatura de așchiere [111] și cauzele care o generează sunt următoarele:

- forfecarea porțiunilor de sudură dintre sculă (fața de degajare) și depunerile pe tăiș care apar mai ales la temperaturi cuprinse între 400-800⁰C.
- calaminare care apare în special la temperaturi de 650⁰C,
- abraziune mecanică,
- procesul de difuzie care apare la temperaturi de peste 800⁰C.

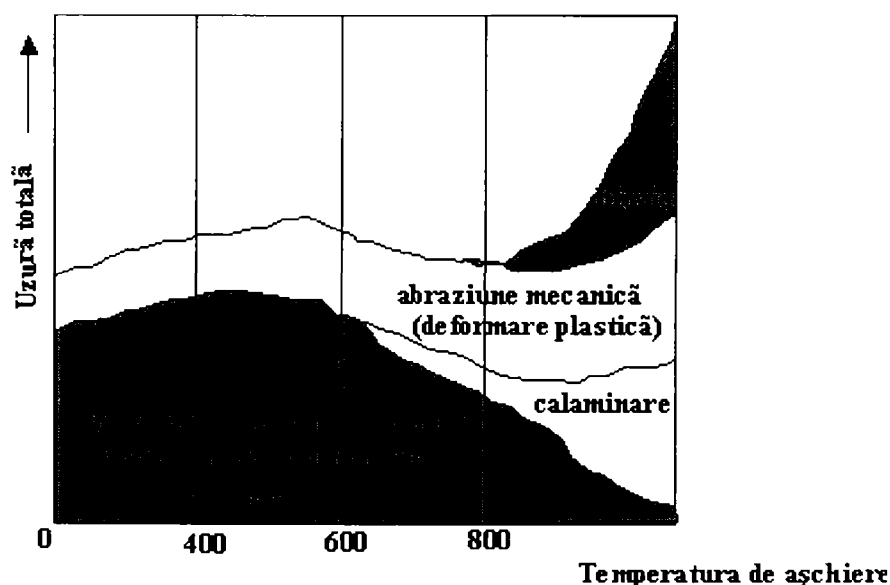


Figura 1.28. Fenomenele care determină apariția uzurii [111]

Factorii care influențează aceste fenomene sunt proprietățile fizice ale materialului așchiat prelucrabilitatea materialului cât și condițiile de așchiere și geometria muchiilor. Ca forme ale uzurii muchiei așchietoare trebuie amintite printre altele: uzura feței de așezare și în crater – figura 1.29, teșirea muchiei – figura 1.30, uzura în pieptene – figura 1.31, deformări ale muchiei așchietoare – figura 1.32.

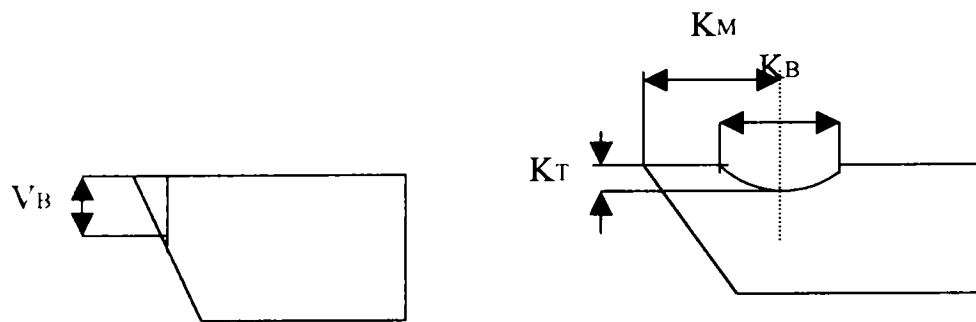


Figura 1.29. Uzura pe fața de așezare și uzura de crater

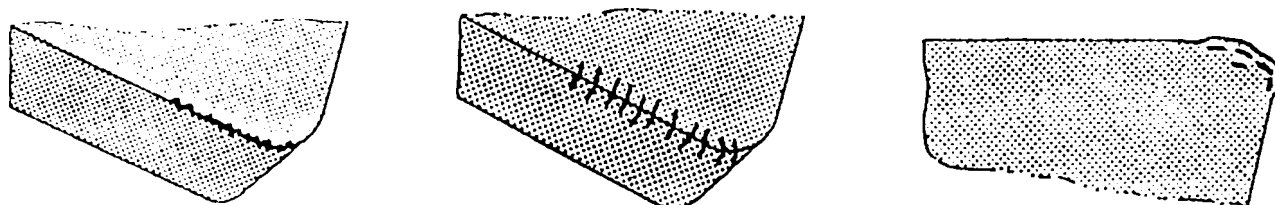


Figura 1.30. Teșirea muchiei Figura 1.31. Uzură în pieptene Figura 1.32. Deformații ale muchiei
În figura 1.33 sunt prezentate câteva tipuri de uzură pentru sculele din materiale ceramice, după Tonshoff. [131]

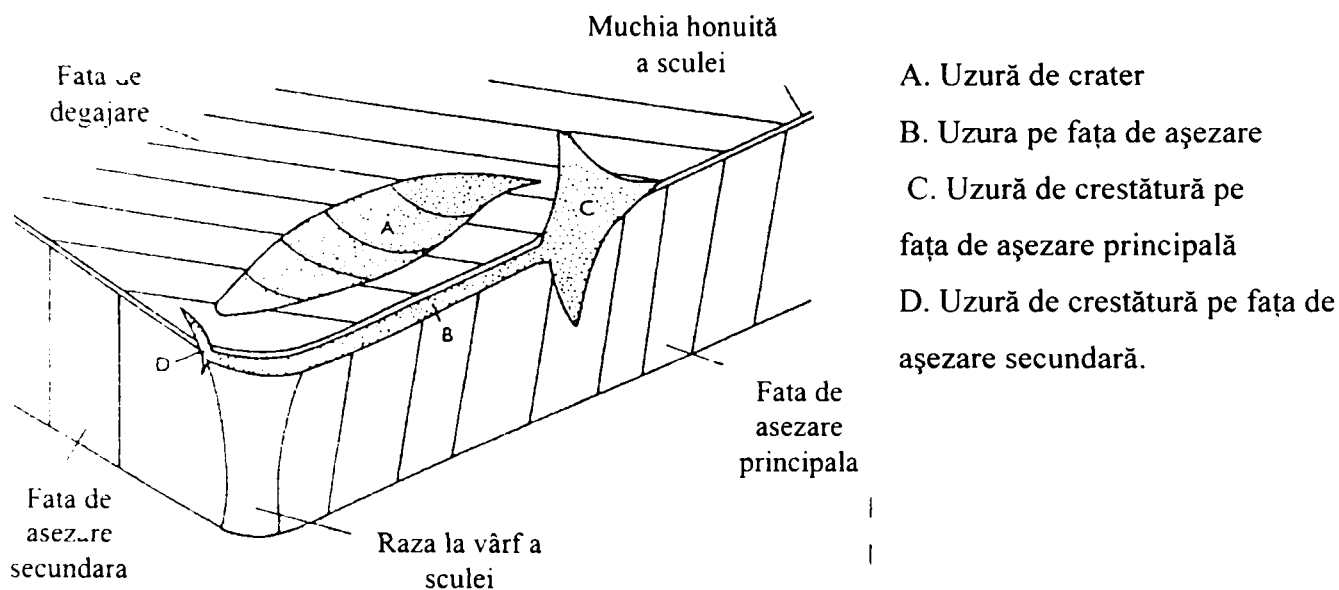


Figura 1.33. Tipuri de uzură întâlnite la scula așchietoare [131]

Durabilitatea unei scule așchietoare este apreciată în funcție de uzura pe fața de așezare. În analiza unui proces de așchiere trebuie totuși ținut cont și de alte criterii cum sunt: respectarea cotelor piesei, calitatea suprafeței piesei, alungirea piesei datorită căldurii din zona de așchiere, modul de formare al așchiilor. Cu alte cuvinte uzura admisibilă pe fața de degajare stabilită pentru un anumit material așchietor trebuie luată în considerare împreună cu alte criterii care se referă de ex. la piesa ce se prelucrează. Uzura tipică a feței de așezare la ceramicele oxidice este cauzată de abraziunea mecanică –figura 1.34.

Uzura în crater nu este un criteriu de durabilitate al ceramicelor oxidice, ci o găsim numai în cazul prelucrării oțelurilor tenace trase. Uzura pe fața de așezare pentru ceramicile mixte ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$) este minimă și foarte uniformă - figura 1.35.

Extrema rigiditate a acestui material presat la cald împiedică o uzură neregulată, fapt pentru care ceramicile mixte se pretează foarte bine pentru operațiile de finisare.



Figura 1.34. Uzura pe fața de așezare la ceramicile oxidice

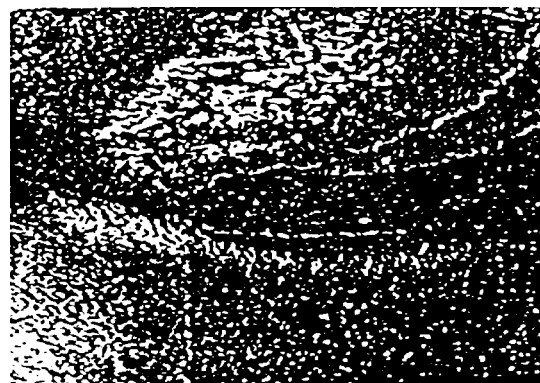


Figura 1.35. Uzura pe fața de așezare la ceramicile mixte

Criteriile esențiale pentru a determina durabilitatea ceramicelor neoxidice Si_3N_4 sunt uzura pe fața de așezare și rotunjirea muchiei – figura 1.36.



Figura 1.36. Uzura pe fața de așezare și rotunjirea muchiei așchietoare la ceramicile oxidice (Si_3N_4)

Trebuie menționat un aspect deosebit de important și care ține de tehnica de lucru cu sculele din materiale ceramice și nitrură cubică de bor. Materialele ceramice utilizate pentru sculele așchietoare sunt sensibile la eforturile de așchiere prin șocuri mecanice cât și la șocurile termice, prezența acestora putând conduce la deteriorarea rapidă a sculelor din materiale ceramice și NCB. Aplicarea unei tehnici de atac adecvate poate diminua acest risc în mod considerabil. Zonele critice la solicitările la șocuri mecanice și termice sunt punctele unde scula începe să așchieze și punctele în care părăsește piesa. Există două posibilități pentru a evita deteriorarea sculei [106, 22]:

1. Piesa este preșanfrenată la 45° cu o altă sculă. Șanfrenul trebuie să depășească adâncimea de așchiere prevăzută. În acest fel scula așchietoare cu un unghi de atac de 75° este supusă la începutul așchierii la o sarcină crescătoare de la zero până la valoarea maximă. Același lucru este valabil și la sfârșitul așchierii când scula părăsește piesa - figura 1.37.

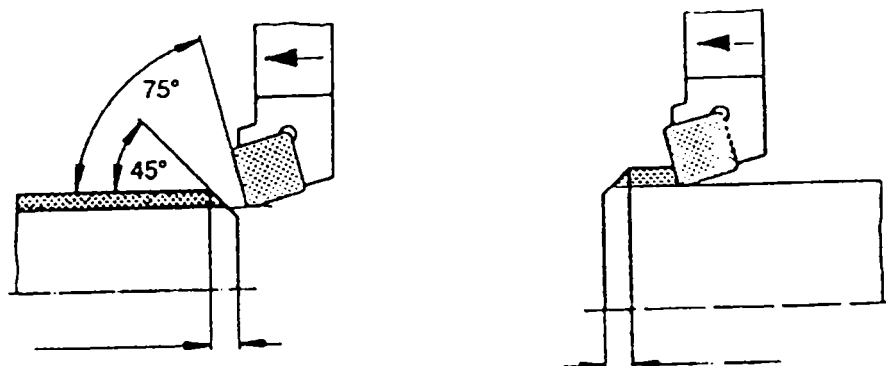


Figura 1.37. Reducerea șocului mecanic prin preșanfrenarea sculei

2. Dacă nu este posibil să se preșanfreneze piesa este recomandat să se limiteze avansul de la valoarea prevăzută la 0,2mm/rot la începutul așchierii până când întreaga adâncime de așchiere este atinsă și apoi avansul poate fi crescut la valoarea prevăzută. În același mod se procedează la sfârșitul așchierii figura - 1.38.

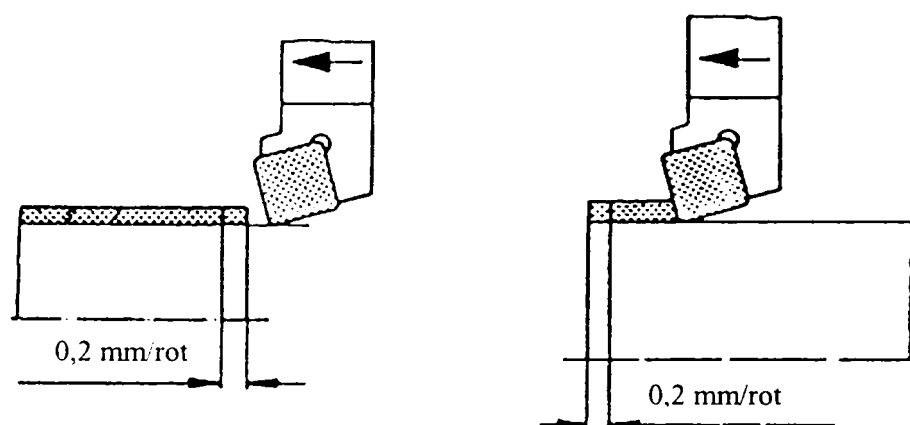


Figura 1.38. Reducerea șocului mecanic prin reducerea avansului

Sculele din NCB se caracterizează printr-o mare duritate (fiind al doilea material ca duritate după diamant). Această proprietate îi conferă o rezistență la uzură foarte ridicată și deci posibilitatea prelucrării unui număr mare de piese/muchie așchietoare. Performanțele sculelor din NCB depind de conținutul de nitrură, de microstructură, de tipul de liant folosit, de atmosfera în care se lucrează [12, 14, 15]. Hooper ș.a. [63] și

Hooper și Brookes [64] arată că există trei mecanisme importante care conduc la uzura sculelor din NCBP:

- uzura chimică cauzată de interacțiunea cu mediul înconjurător (inclusiv oxidarea atmosferică).
- formarea unui strat protector pe suprafața sculei la temperaturi ridicate.
- îndepărtarea acestui strat de către așchii la viteze de așchiere mici (temperaturi scăzute) conducând la uzura prin frecare și mai târziu la uzura chimică.

În STAS 12046/1-81 sunt prezentate formele de uzură care se întâlnesc la o sculă așchietoare. La sculele din NCB uzura se prezintă aproximativ la fel cu o excepție legată de faptul că uzura în formă de creștătură prezentă pe fața de așezare secundară este mai puțin pregnantă.

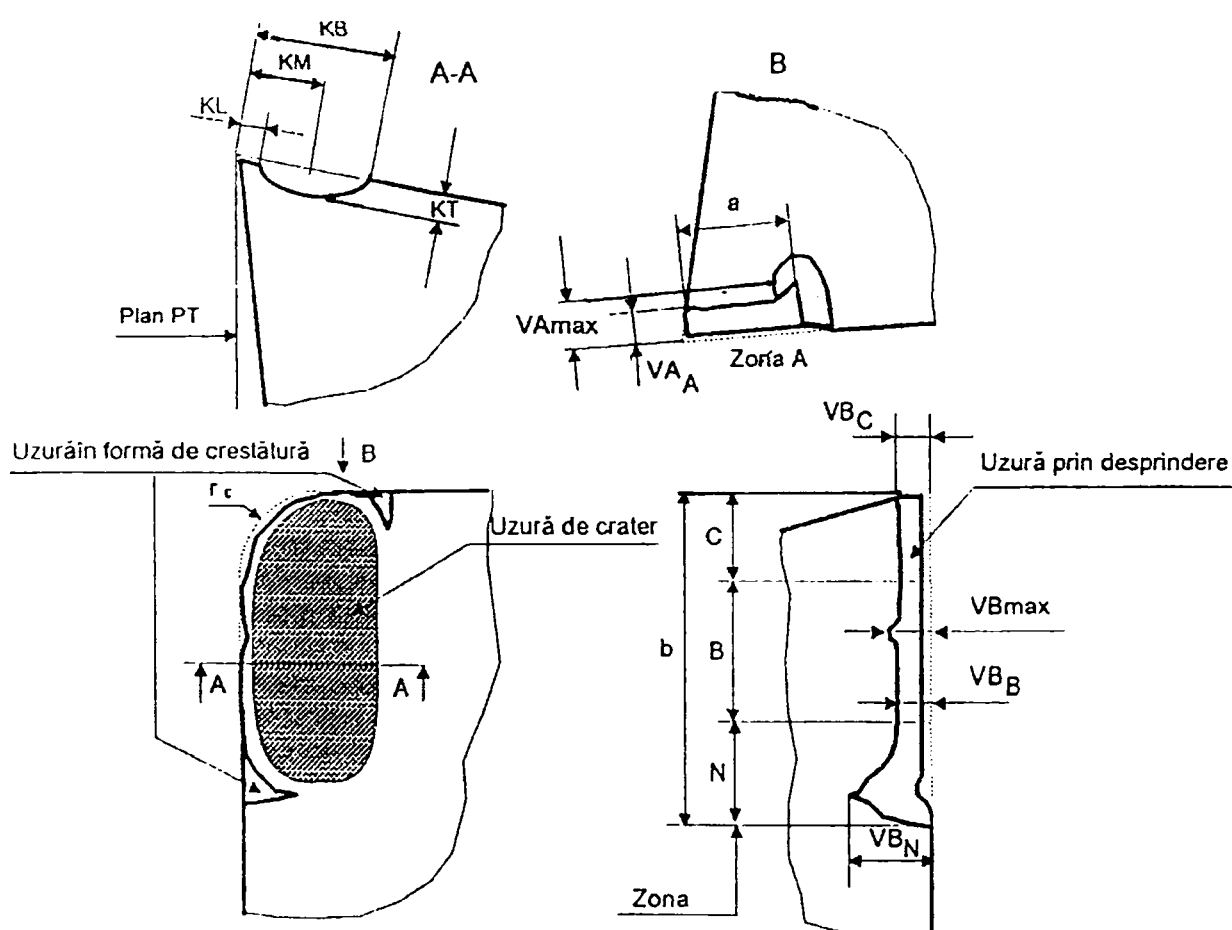


Figura 1.39. Tipuri de uzură la cuțitul de strung conform STAS 12046/1-81

Duritatea și implicit rezistența la uzură a sculelor din NCB depind de conținutul procentual de NCB.

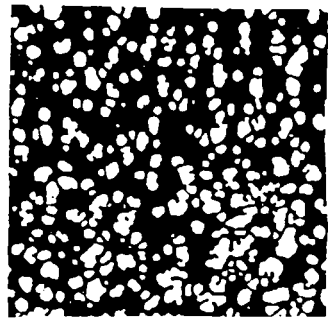
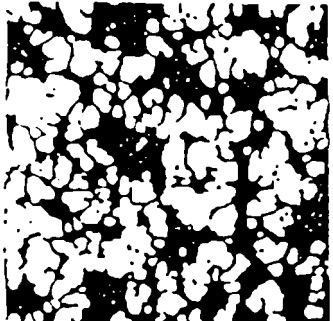
MICROSTRUCTURĂ	CONȚINUT DE NCB	DURITATE VICKERS
	RIDICAT	4500
	SCĂZUT	2700

Figura 1.40. Legătura dintre microstructura și duritatea sculelor din NCB [64]

În figura 1.41 este prezentată influența conținutului procentual de NCB asupra durabilității sculei și asupra uzurii pe fața de așezare atunci când se prelucrează carbura de wolfram.

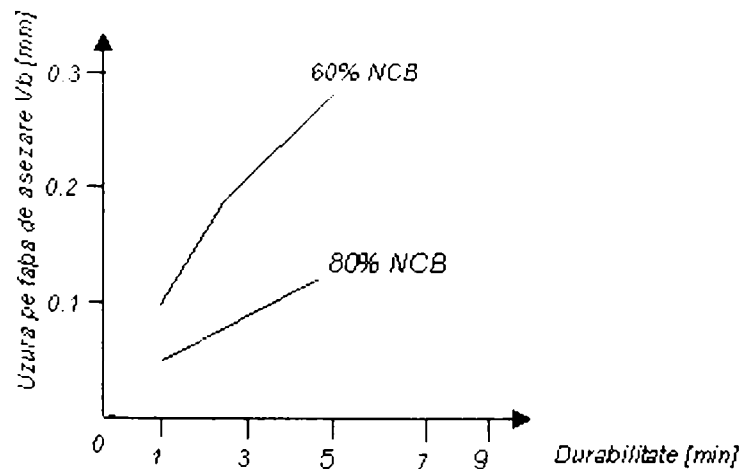


Figura 1.41. Influența conținutului de NCB asupra durabilității sculei și a uzurii pe fața de așezare [64]

Se poate aprecia deci că duritatea sculelor din NCB crește odată cu creșterea conținutului de NCB și implicit crește și rezistența la uzură. Totuși se pot observa influențe diferite ale conținutului de NCB asupra uzurii sculei atunci când se prelucrează materiale diferite.

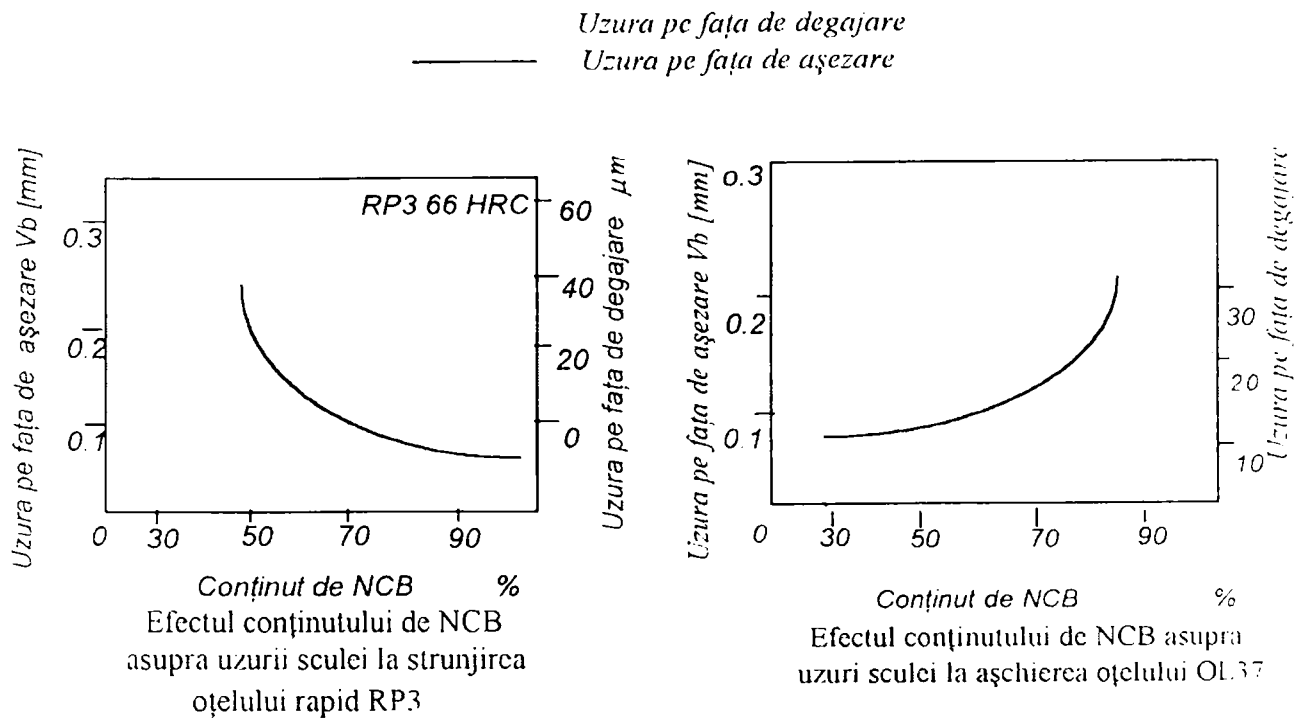
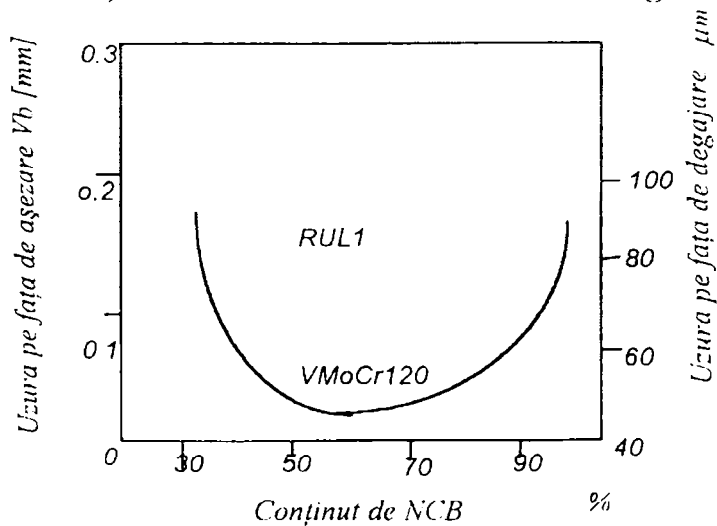


Figura 1.42. a)

Figura 1.42. b)



Efectul conținutului de NCB asupra uzurii sculei la așchiera oțelurilor durificate RUL 1-62 HRC și VMoCr120-62 HRC

Figura 1.42. c)

Figura 1.42. Influența conținutului de NCB asupra durabilității sculei la așchiera diferitelor tipuri de oțeluri

Din figura 1.42.a) se poate vedea că la prelucrarea unor oțeluri rapide cu duritate 66 HRC cu cât conținutul de NCB este mai mare cu atât scula este mai dură, mai rezistentă la uzură și va avea durabilitate mai mare. În cazul prelucrării unor oțeluri pentru realizarea matrițelor VMoCr120 și a unor oțeluri de rulmenți - figura 1.42.b) se observă că există un optim al concentrației procentuale de NCB. Sculele cu conținut de cca. 55% NCB au prezentat cele mai bune performanțe la așchiera oțelurilor mai sus menționate. La prelucrarea oțelului OL37 cu duritate 26 HRC - figura 1.42.c) se observă că cu cât scula

are un conținut mai redus de NCB cu atât este mai durabilă. O posibilă explicație a acestui fenomen este dată de Aspinwall și Chen care arată că atunci când se aşchiază o structură feritică, uzura sculelor aşchietoare din NCB este mai mare decât atunci când se aşchiază o structură perlitică cu viteze de aşchiere mai mari de 90 m/min. Acest comportament este justificat prin modul de formare al aşchiilor. În cazul aşchierii structurii feritice modul de formare al aşchiilor sub forma unor panglici continue conduce la obținerea unor temperaturi ridicate pe fața de degajare a sculei (datorită contactului permanent al aşchiei cu fața de degajare) și implicit la deprecierea mai rapidă a sculei. În cazul aşchierii structurilor perlitice aşchiile sunt discontinue și deci nu există un contact permanent al aşchiei cu fața de degajare, prin urmare temperatura produsă în zona de aşchiere este mai mică și solicitarea termică a sculei este de asemenea mai mică.

S-a constatat că particulele de NCB conțin adesea incluziuni, iar cercetări asupra efectului șocului termic la particulele de NCB au arătat că tensiunile produse de dilatarea termică diferită a acestor incluziuni poate conduce la apariția fisurilor [20]. Pentru a exploata duritatea mare la temperaturi ridicate, sculele aşchietoare din NCB se folosesc cu un unghi de degajare negativ care crește efortul de forfecare în aşchie și prin urmare crește temperatura în zona de aşchiere. Acest fapt reduce producerea tensiunilor în materialul de prelucrat și facilitează procesul de aşchiere [2]. De asemenea s-a observat că odată cu creșterea temperaturii în zona de aşchiere (800⁰- 900⁰C) se atinge temperatura de recristalizare a materialului aşchiat. În felul acesta deși proprietățile celei mai mari părți a materialului aşchiat nu se schimbă, totuși în zona de deformare rezistența și duritatea materialului prelucrat scad și astfel aşchiera devine mai ușoară. Acest efect al "înmuiirii la temperaturi ridicate" a fost menționat de mai mulți cercetători. [9, 46, 1]

Bazat pe observațiile la microscopul electronic și pe microanaliza cu raze X câțiva cercetători ruși [82] au ajuns la concluzia că sculele din nitrură cubică de bor policristalină NCBP se uzează printr-un mecanism de rupere prin abraziune mecanică. Acești autori cred că uzura sculei devine mult mai intensă la temperaturi apropiate reversiei NCB → NHB (nitrură hexagonală de bor). Conform afirmațiilor lor nitrura hexagonală de bor-NHB apare la început la limita grăunților, conducând la o degradare a rezistenței policristalului. Alți cercetători [84] au dezvoltat teoria uzurii de difuzie a sculei accentuând faptul că acest mecanism de uzură se manifestă mai ales la viteze mari de aşchiere.

Hitchiner [62] și Kramer [79] notează prezența interacțiunii chimice la interfața NCBP/semifabricat și în acest caz uzura este determinată de o difuzie reciprocă a materialelor aflate în contact. Există date experimentale care susțin existența unui mecanism de uzură de adeziune al sculei din NCBP când se aşchiază aliaje Fe-C. [69]

Mecanismul uzurii abrazive constă în faptul că incluziunile dure din materialul semifabricatului penetrează în suprafața de contact a sculei, o zgârâie acționând astfel ca niște microcuțite. Uzura abrazivă este mai pronunțată în cazurile unde sunt cantități mai mici de NCB și WBN în materialul policristalin și unde liantul este mai moale sau duritatea lui scade mai intens cu creșterea temperaturii decât scade duritatea particulelor abrazive din materialul semifabricatului. Uzura abrazivă se poate datora unui efect de "auto - abraziune". Acest fenomen este cauzat de particulele din materialul sculei scoase afară datorită fenomenului de oboseală și de mecanismul uzurii de adeziune și care cad în zona de contact dintre sculă și semifabricat. Acesta este mecanismul care determină uzura abrazivă a sculei la strunjirea materialelor care nu conțin incluziuni dure. În plus uzura abrazivă devine mai intensă datorită interacțiunii chimice a sculei cu semifabricatul și cu mediul înconjurător, în special cu oxigenul din aer. Feng [51] a încălzit NCB pur , NCB+MgO și NCB+Co la temperatura de 1250⁰C timp de o oră. El a descoperit cu ajutorul razelor X, că reversia NCB în NHB a fost semnificativă la epruveta cu NCB+MgO, ușor sesizabilă în cazul epruvetei din NCB pur, iar în cazul epruvetei din NCB+Co nu s-a produs nici o schimbare. Feng a concluzionat că oxigenul și oxizii acționează ca un catalizator al reversiei NCB în NHB și că prezența cobaltului poate limita această reversie prin reducerea atmosferei îmbogățită în oxigen. În cazul utilizării unor viteze mari de aşchiere s-a observat formarea pe fața de degajare a unui crater superficial care s-a extins până în vecinătatea muchiei aşchietoare, aceasta rămânând ascuțită. [134]

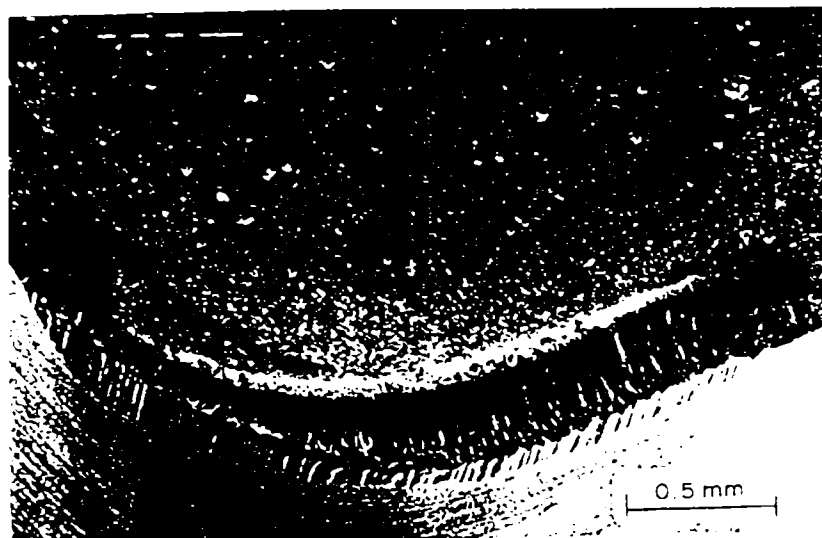


Figura 1.43. Crater de uzură pe fața de degajare a sculei aşchietoare din NCBP după aşchiera unui oțel cu duritatea 650 HV și cu viteza de 75 m/min [134]

O serie de cercetători [20, 37, 146] au arătat că suprafața sculei din NCBP este acoperită de un strat protector având o compoziție asemănătoare cu cea a materialului prelucrat. La testele cu oprire rapidă în aşchiere (quick - stop) sculele au fost invariabil fragmentate și în cele mai multe cazuri s-au produs fisuri prin exfoliere adică fisuri paralele cu fața de degajare sugerând formarea unor legături puternice între strat și sculă. Figura 1.44 prezintă muchia unei astfel de fisuri cu un mic fragment atașat complet de stratul metalic. S-a stabilit că vitezele mici de aşchiere conduc la ruperi mai frecvente ale plăcuțelor de NCB decât vitezele mari de aşchiere [64].

Acest lucru poate fi explicat prin faptul că la viteze mici de aşchiere și implicit la temperaturi mici, coeziunea dintre aşchie și strat este comparabilă cu cea dintre strat și sculă. Astfel stratul este îndepărtat intermitent de un proces de fisurare datorat legăturilor adezive foarte puternice dezvoltate de aşchie. La temperaturi ridicate coeziunea dintre aşchie și strat este mai redusă și aşchiile curg pe suprafața de degajare care este în acest fel protejată de stratul depus pe ea.

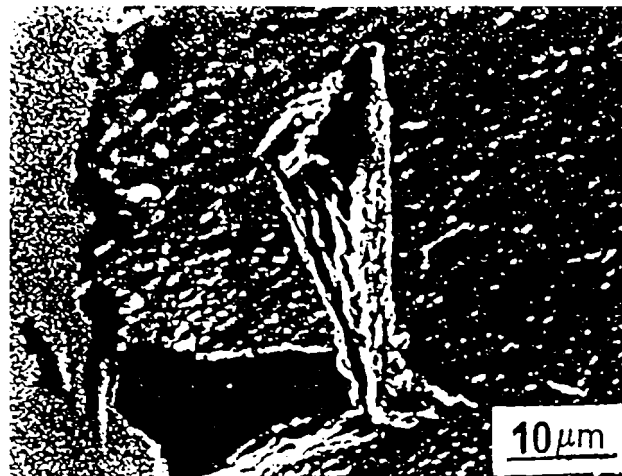


Figura 1.44. Fragment de NCB atașat de stratul metalic [64]

Efectul atmosferei de lucru are o mare importanță asupra fenomenului de uzură la sculele așchietoare din NCB [64, 62]. Astfel când așchiera s-a făcut în atmosferă îmbogățită în oxigen s-au observat șanțuri mari și netede pe fața de așezare a sculei așchietoare. Această regiune a fost mai redusă ca suprafață atunci când s-a lucrat în atmosferă îmbogățită în azot - figura 1.45 a și b.

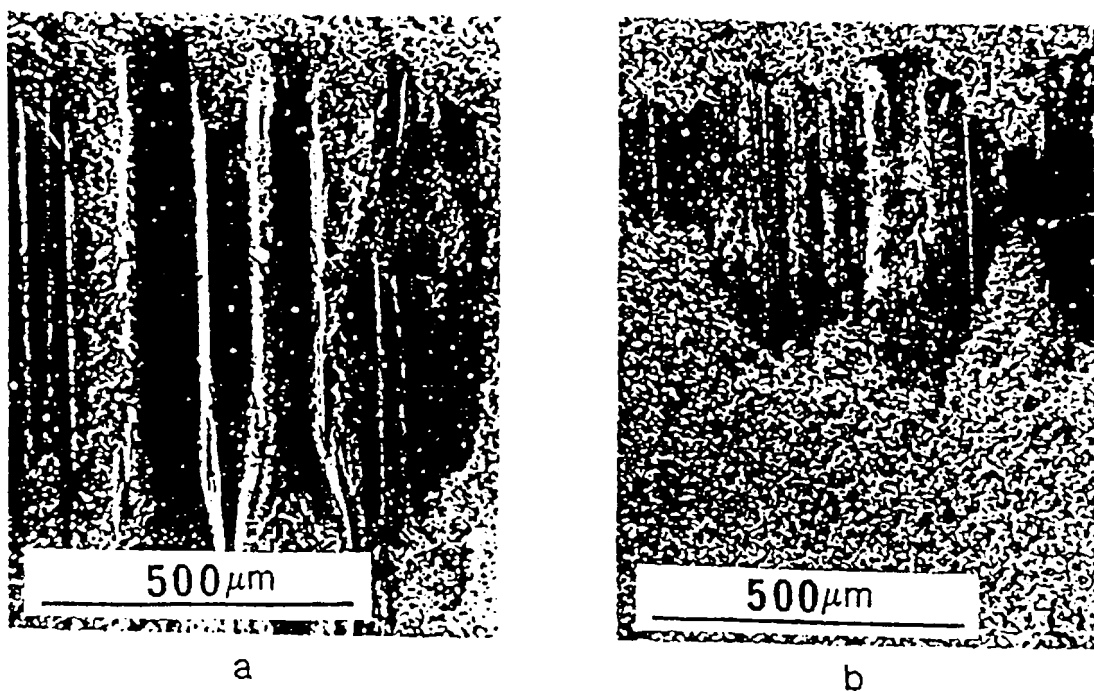


Figura 1.45. Șanțuri de uzură produse pe fața de așezare a sculei în atmosferă de oxigen a) și în atmosferă de azot b). [64]

Când s-a utilizat o atmosferă îmbogățită în dioxid de carbon s-a observat apariția unui strat protector în zona de așchiere [64]. Stratul este constituit din NHB (nitrură hexagonală de bor) și B_7O și protejează scula la uzura de adeziune. S-a constatat că nu toți oxizii de bor au o acțiune de protecție a sculei, de ex. compusul B_2O_3 care se formează pe scula așchietoare când se lucrează în aer duce la intensificarea uzurii sculei [110].

S-a determinat rezistența tangențială la uzura de adeziune τ_a în condițiile presiunii de contact și a temperaturii apropiate de temperaturile din zona de aşchiere.

$$\tau_a = \tau_0 + \beta_p \quad (1.13)$$

– τ_0 - rezistența la forfecare a lipiturii adezive.

- β_p - factorul de rezistență al lipiturii adezive în condiții normale de efort P.

Ruperile mecanice și cele datorate uzurii de adeziune constau în smulgerea de particule individuale care dau naștere la o uzură abrazivă pe fața de contact a sculei. Procesele chimice care apar în zona de aşchiere au o contribuție importantă la uzura sculelor din NCBP. O serie de cercetători [72] au arătat că atunci când se prelucrează metale care conțin Fe, Cr, Ti cu scule din NCBP, se produce un transfer de material din semifabricat în sculă și reacții chimice care formează nitrați, borați, oxizi și probabil compuși mult mai complecși cum sunt oxiborați ai elementelor care sunt constituenți ai materialului semifabricatului. Analiza datelor obținute cu ajutorul microgرافیilor făcute suprafețelor unei scule uzate a dus la concluzia că are loc un transfer reciproc al materialelor din sculă și din piesă. Transferul de material pe suprafața sculei poate fi observat într-o gamă variată de condiții de aşchiere. Apariția straturilor de acoperire, configurația și poziția lor cu privire la muchiile aşchietoare și vârful sculei suferă schimbări care depind de condițiile de prelucrare și de extinderea uzurii sculelor.

Pe fața de degajare, învelișul se poate depune ca un strat eterogen pe fiecare zonă unde scula este uzată și pare să aibă o structură solzoasă – figura 1.46.

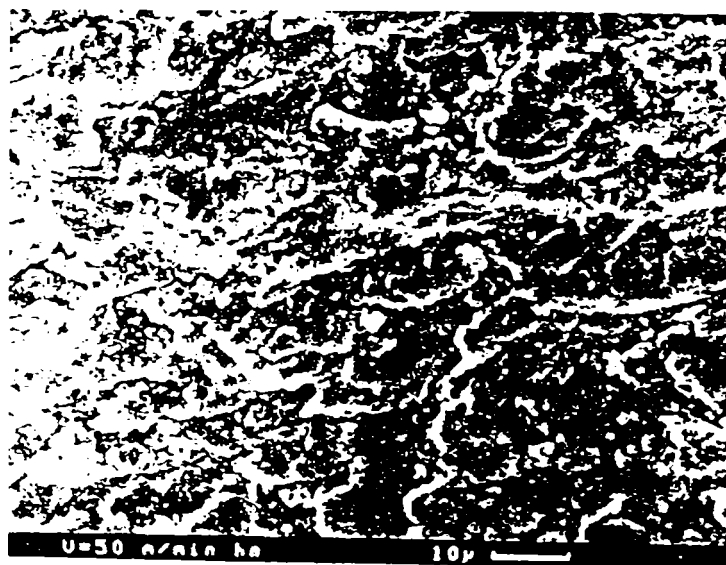


Figura 1.46. Stratul care acoperă fața de degajare și de așezare la o sculă din NCB [72]

Nu se observă nici un astfel de strat pe fața de așezare principală până când scula nu se uzează complet. Cu creșterea vitezei de aşchiere stratul acoperă progresiv suprafețe din ce în ce mai mari pe fața de degajare și pe fața de așezare secundară și apare de asemenea

pe fața de așezare principală. Acoperirea feței de degajare devine mai uniformă și structura solzoasă a stratului depus este mai pregnantă. Cel mai important câștig obținut prin utilizarea sculelor așchietoare din NCB în procesul de așchiere este dat de durabilitatea crescută a acestor scule. Adesea acesta este motivul principal care îi face pe tehnologi să recomande ca scule așchietoare, sculele din NCB. Din datele prezentate de o serie de cercetători [59, 60] reiese că durabilitatea sculelor din NCB poate fi de 100 de ori mai mare decât a sculelor convenționale din carburi metalice sau ceramice în cazul așchierii fontelor aliate, iar rezultate și mai bune se obțin în cazul prelucrării materialelor clasificate ca materiale "greu prelucrabile" cum sunt aliajele feroase cu durități de peste 45 HRC [108].

Criterii de durabilitate

Între formele uzurii ce pot să apară la strunjirea dură cu scule din NCB, din punct de vedere al realizării unei calități a suprafeței și a unei precizii dimensionale care să permită înlocuirea operației de rectificare, cel mai frecvent este luată în considerare uzura pe fața de așezare principală V_B și pe fața de așezare secundară V_A – figura 1.38. Întrucât fața de așezare secundară influențează direct rugozitatea suprafeței așchiate este recomandabil ca V_A să fie considerat un criteriu de durabilitate. STAS 12046/2 - 84 recomandă ca uzura pe fața de așezare secundară să fie $V_A = 1$ mm. Pentru uzura pe fața de așezare principală se recomandă următoarele valori $V_{Bmed} = 0,1 - 0,15$ mm, iar $V_{Bmax.} = 0,15 - 0,2$ mm. Aceste valori sunt solicitate atât pentru păstrarea componentei F_p a forței de așchiere în limite rezonabile cât și pentru evitarea înrăutățirii rugozității suprafeței. Pentru strunjirea de finisare un criteriu frecvent utilizat este rugozitatea suprafeței. STAS 12046/2 - 84 recomandă următoarele valori pentru R_a : 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3. Aceste valori sunt considerate în general prea mari pentru strunjirea în stare dură unde se obțin frecvent rugozități $R_a = 0,6 - 0,8$ mm. Se pot utiliza ambele criterii de durabilitate R_a și V_B . Alte criterii ce pot fi luate în considerare la aprecierea durabilității sculelor din NCB sunt abaterile de formă geometrică (abaterea de la planeitate, cilindricitate, circularitate). Se recomandă ca acestea să fie mai mici de 10 μ m. Atunci când criteriul de durabilitate este precizia dimensională, toleranțele dimensiunilor se limitează de regulă la clasa de precizie IT6. Datele prezentate mai sus sunt sintetizate în tabelul 1.10.

Tabelul 1.10. Criterii de durabilitate pentru sculele din NCBP – STAS 12046/2-84

V _A [mm]	V _{Bmed} [mm]	V _{Bmax} [mm]	R _a [μ m]	Abateri dimensionale	Abateri de la forma geometrică a suprafeței [μ m]
1	0,1-0,15	0,15-0,2	0,6-0,8	IT6	10

1.4.4. Considerații asupra integrității suprafeței așchiate cu scule din materiale dure și extradure

După unii autori [52] noțiunea de integritate a suprafeței așchiate implică o serie de aspecte legate de rugozitatea suprafeței așchiate, precizia dimensională a acesteia, posibilele modificări structurale care apar în suprafața așchiată, precum și tensiunile reziduale din stratul de suprafață. Referitor la precizia dimensională, se apreciază că aceasta reprezintă gradul de concordanță ce există între piesa ideală (teoretică) și cea rezultată în urma procesului de așchiere, atât din punct de vedere al formei geometrice cât și al dimensiunii piesei [130].

Konig [78] este de părere că pot fi luate în considerare următoarele limite cu privire la rugozitate și precizia de formă și poziție relativă pentru oțelurile cu duritate mare, așchiate cu scule din nitrură cubică de bor policristalină.

Tabel 1.11. Limite acceptate pentru rugozitate și abateri de formă și poziție relativă a suprafețelor obținute prin strunjire cu scule așchietoare din NCBP [78]

Parametrul de rugozitate		Abateri de formă geometrică și poziție relativă		
R _t	R _a	De la concentricitate	De la planeitate	De profil (raza de reabordare)
0,48-0,82	0,086-0,142	0,89	< 1 μ m	< 2 μ m

Referitor la calitatea suprafeței este astăzi unanim acceptat că principalii factori care influențează rugozitatea suprafeței așchiate sunt:

- 1⁰ - proprietățile fizico-mecanice ale materialului așchiat,
- 2⁰ - geometria sculei așchietoare,
- 3⁰ - parametrii regimului de așchiere,
- 4⁰ - uzura sculei așchietoare,
- 5⁰ - lichidele de așchiere

1⁰. Proprietățile fizico-mecanice ale materialului așchiat

Odată cu creșterea durității materialului așchiat, gradul deformațiilor plastice care au loc în zona de așchiere este mult redus datorită faptului că materialul semifabricatului

având o duritate mare, prezintă și o fragilitate mare și în acest fel nivelul curgerii plastice a materialului este mult redus. Acest lucru are ca rezultat o îmbunătățire a rugozității suprafeței [136].

2⁰ Influența geometriei sculei asupra rugozității suprafeței așchiate cu scule așchietoare din NCBP

Gavrilaș ș.a. [54] apreciază că există o legătură strânsă între parametrii geometrici ai sculei așchietoare, parametrii regimului de așchiere și uzura sculei așchietoare asupra rugozității suprafeței așchiate la prelucrarea oțelurilor cu duritate ridicată. Teoretic la prelucrarea de finisare așchiera se face în special cu porțiunea rotunjită a vârfului sculei așchietoare și atunci valoarea lui Ra poate fi calculată cu relația următoare. [23]

$$Ra = 0,0321 \frac{f^2}{r_\epsilon}, \quad (1.14)$$

unde:

f – avansul [mm/rot],

r_ϵ – raza la vârful sculei.

Din această relație se observă că Ra este invers proporțional cu raza la vârf a sculei. Câțiva cercetători japonezi au investigat influența razei la vârf asupra durabilității sculelor din NCB și a rugozității suprafeței la strunjirea unui oțel Cr-Mo, JIS-SCM 420 cementat echivalent cu oțelul românesc 42MoCr11 [115]. Au fost considerate două criterii de durabilitate și anume:

L_1 – lungimea de așchiere până când se ajunge la uzura limită $V_B=0,25$ mm,

L_2 – lungimea de așchiere până se atinge rugozitatea limită $Ra=0,8$ μ m.

A fost cercetat efectul razei la vârf r_ϵ asupra lui L_1 și L_2 în următoarele condiții:

- unghiul de înclinare negativ al fațetei $\gamma = -35^\circ$,
- lățimea fațetei 0,2 mm,
- raza la vârf $r_\epsilon = 0,4; 0,8; 1,2; 1,6$,
- raza de ascuțire la vârf $\rho = 0,05$ mm.

Rezultatele sunt prezentate în figura 1.47

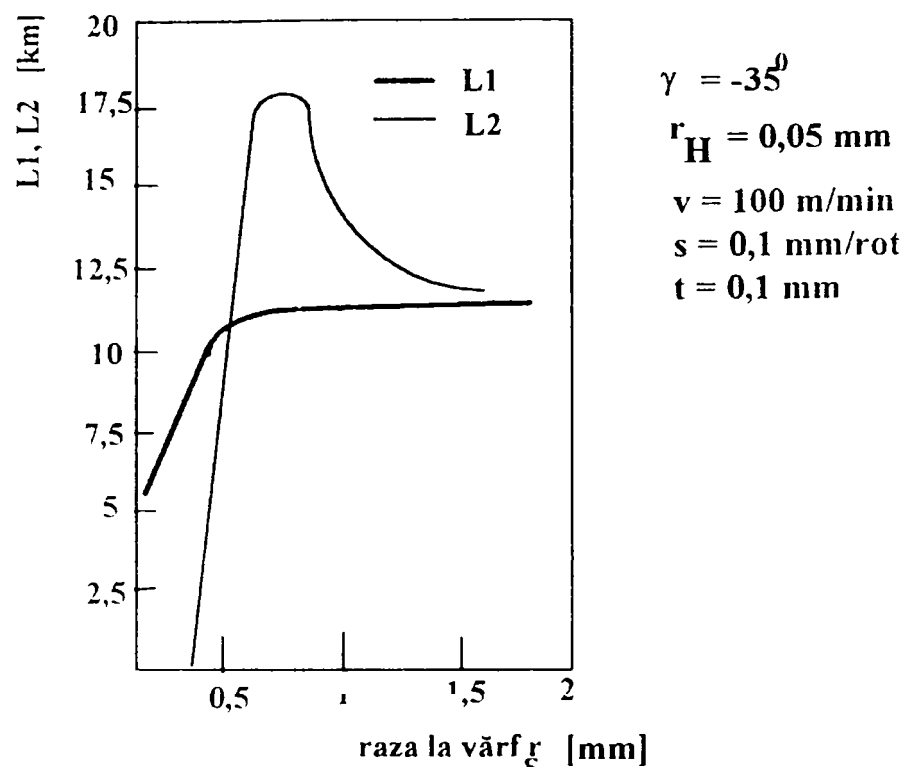


Figura 1.47. Dependența uzurii V_B (L_1) și a rugozității R_a (L_2) în funcție de raza la vârf r_e . Inițial se observă că L_1 crește odată cu creșterea lui r_e și atinge o valoare aproximativ constantă pentru o valoare a lui r_e mai mare de 0,8 mm. Valori mai mici ale durabilității care apar la valori mici ale razei r_e pot fi cauzate de uzura termică ca urmare a creșterii temperaturii în sculă datorită unui vârf prea ascuțit și datorită grosimii așchiei. Valoarea maximă a lui L_2 s-a manifestat pentru valoarea $r_e = 0,8$ mm. La valori ale lui r_e mai mari de 0,8 mm, L_2 a prezentat o ușoară descreștere odată cu creșterea lui r_e . Acest lucru are loc deoarece odată cu creșterea lui r_e are loc o creștere importantă a forței radiale și prin urmare o creștere a cantității de căldură degajate; toate acestea asociate riscului crescut de apariție a vibrațiilor conduc la înrăutățirea rugozității suprafeței așchiate.

Influența unghiului de așezare α

Dacă se pleacă de la argumente strict teoretice, o creștere a unghiului de așezare, conduce la micșorarea frecării pe fața de așezare, deci la o îmbunătățire a rugozității. În practică s-a constatat că la o creștere exagerată a unghiului α are loc o micșorare a durabilității sculei ca urmare a micșorării rezistenței mecanice și a înrăutățirii capacității de evacuare a căldurii și prin urmare rugozitatea R_a crește.

Influența unghiului de degajare γ

Mai dificil este de pus în evidență influența unghiului de degajare asupra rugozității suprafeței. Experiențele efectuate pe oțeluri cu duritate mare (45-65 HRC) au reliefat imposibilitatea stabilirii unei relații riguroase între valoare a unghiului de degajare și înălțimea asperităților [54].

Influența unghiului de atac principal χ

În ceea ce privește influența unghiului de atac principal asupra rugozității suprafeței se poate aprecia că odată cu micșorarea acestuia are loc o îmbunătățire a rugozității R_a , lucru ce poate fi explicat prin îmbunătățirea capacității de evacuare a căldurii din zona de așchiere.

Influența unghiului de înclinare a tăișului λ

În cazul unghiului de înclinare a tăișului, acesta are în general valori negative în cazul utilizării sculelor din NCB, deoarece în acest fel scula intră mai întâi în material cu tăișul și apoi cu vârful, lucru deosebit de important dacă se ține seama de fragilitatea sculelor din NCB. Totuși pentru valori negative ale unghiului λ așchia este dirijată în sens contrar avansului [48] existând astfel riscul zgârâierii suprafeței prelucrate. Din acest motiv la prelucrarea de finisare a unor oțeluri cu duritatea de peste 50 HRC nu este exclusă utilizarea unui unghi λ egal cu zero.

3^o Influența parametrilor regimului de așchiere

Influența cea mai pregnantă asupra rugozității suprafeței prelucrate în cazul așchierii oțelurilor cu duritate mare, o are ca și în cazul strunjirii convenționale avansul de așchiere f_n , [16, 17, 88, 101], în sensul că odată cu micșorarea acestuia se constată o îmbunătățire a rugozității. Viteza de așchiere are o influență notabilă asupra rugozității suprafeței. La viteze mici de așchiere tinde să apară fenomenul depunerilor pe tăiș care conduce la înrăutățirea rugozității și la modificarea preciziei dimensionale a piesei așchiate. Odată cu creșterea vitezei de așchiere are loc o îmbunătățire a rugozității suprafeței, până la o anumită valoare a vitezei de așchiere. Dacă viteza continuă să crească, are loc o creștere a temperaturii în zona de așchiere și de asemenea există riscul apariției vibrațiilor. Ambele fenomene menționate au ca rezultat o înrăutățire a rugozității suprafeței. Cu alte cuvinte există o viteză optimă V_{optim} în funcție de materialul așchiat, de materialul sculei, care conferă condițiile obținerii unei rugozități R_a optime.

Adâncimea de așchiere are o influență redusă asupra rugozității suprafeței exceptând cazul când o creștere exagerată a acesteia conduce la apariția vibrațiilor.

4^o Influența uzurii sculei așchietoare

Uzura pe fața de așezare este într-o strânsă corelare cu rugozitatea suprafeței așchiate. Acest lucru poate fi explicat în felul următor. Atunci când începe așchiera utilizând o sculă nouă, suprafața așchiată este influențată de geometria sculei dacă se lucrează cu un avans dat. Dacă adâncimea de așchiere este mai mică decât raza la vârful sculei atunci principalul parametru geometric ce influențează rugozitatea este raza la vârful sculei. Pe măsură ce uzura crește, vârful rotund al sculei tinde să devină plat, cu alte cuvinte raza la vârf se mărește, lucru ce conduce la îmbunătățirea suprafeței prelucrate [37]. Dacă uzura continuă să crească pe fața de așezare, se produce o creștere a forței de așchiere, în special a componentei radiale F_p a acesteia precum și a temperaturii în zona de așchiere ca urmare a creșterii frecării în zona respectivă. Creșterea valorii componentei radiale F_p a forței de așchiere poate să conducă la apariția vibrațiilor în procesul de așchiere care coroborat cu creșterea temperaturii are ca efect înrăutățirea calității suprafeței prelucrate.

5^o Influența lichidelor de așchiere

Cel puțin teoretic lichidele de așchiere au o influență benefică asupra calității suprafeței așchiate deoarece micșorează frecarea dintre sculă și semifabricat, îmbunătățesc condițiile de evacuare a așchiilor și reduc uzura sculei. Totuși atunci când se așchiază oțeluri cu duritate peste 50 HRC cu scule așchietoare din materiale ceramice și nitrură cubică de bor, majoritatea producătorilor de astfel de scule, recomandă realizarea așchierii fără lichide de așchiere, ținând cont de duritatea mare la temperaturi ridicate a acestor tipuri de scule așchietoare precum și de conductibilitatea termică ridicată, în special a sculelor din NCB care ajută la evacuarea căldurii. Almond [7] prezintă o diagramă cu duritatea în funcție de temperatură pentru diferite materiale de sculă.

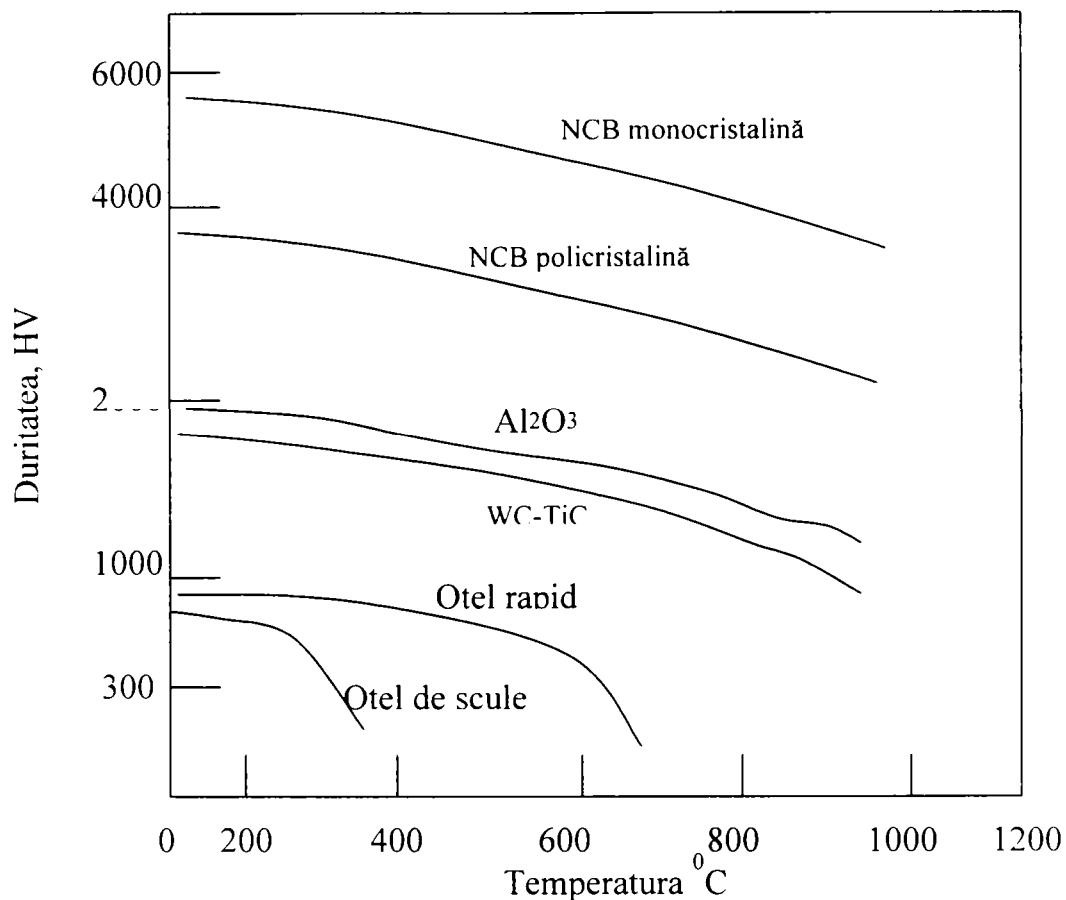


Figura 1.48. Duritatea la temperaturi ridicate a câtorva materiale de sculă [7]

Din această diagramă reiese că NCB și ceramicele prezintă după diamant cea mai mare duritate la temperaturi ridicate. Un alt considerent care face ca lichidele de așchiere să nu fie utilizate când se folosesc scule din materiale ceramice și NCB este legat de faptul că aceste materiale au o rezistență relativ scăzută la șocuri termice și dacă jetul de fluid nu este constant și corect dirijat înspre zona de așchiere pot rezulta șocuri termice ce favorizează deteriorarea sculei așchietoare și implicit a calității suprafeței [118]. Operații de așchiere cum sunt strunjirea și frezarea oțelurilor cu duritatea de peste 45 HRC, implică solicitări termice și mecanice asupra suprafeței așchiate care afectează integritatea acesteia. Operația de strunjire are ca rezultat apariția de tensiuni reziduale de întindere în ciuda faptului că cea mai mare parte din căldura degajată în procesul de formare a așchiei este disipată în așchii. Explicația acestui fapt este aceea că mare parte din căldura generată prin frecarea pe fața de așezare este disipată în materialul de prelucrat, iar tensiunile reziduale de întindere se transformă în tensiuni de compresiune doar la câțiva micrometri sub suprafața așchiată [30]. Liu și Barash [83] au arătat că forma muchiei așchietoare face ca tensiunile reziduale să fie foarte aproape de suprafața

prelucrată. Uzura sculei induce eforturi normale și eforturi tangențiale de forfecare care conduc la apariția deformațiilor pe suprafața și imediat sub suprafața așchiată [144, 145]. Efectul vitezei de așchiere asupra tensiunilor reziduale la strunjire a fost cercetat de câțiva oameni de știință [140, 141] care au arătat că la strunjirea unui oțel slab aliat cu viteze de așchiere reduse apare fenomenul depunerii pe tăiș, în timp ce la așchiera unor oțeluri durificate cu viteze mari de așchiere s-a observat apariția unui strat martensitic foarte dur imediat sub suprafața așchiată, căruia i s-a mai spus și strat alb după felul cum apare la microscopul optic, sub forma unei benzi albe. Komanduri [74] subliniază existența unor similitudini între operația de strunjire și cea de rectificare așa cum reiese și din figura 1.49.

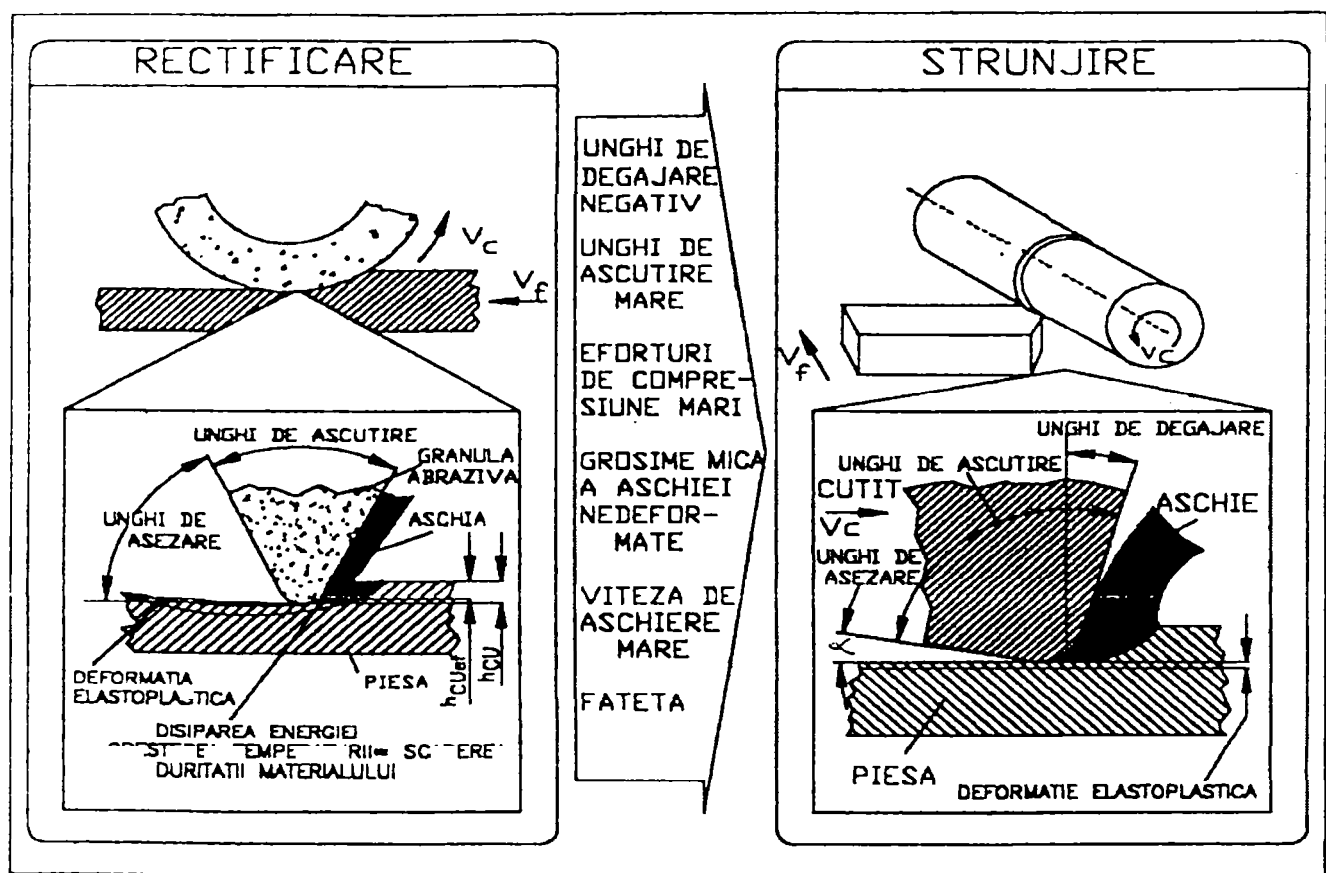


Figura 1.49. Similitudini privind modul de formare al așchiei la strunjire și rectificare [74]

Există totuși unele deosebiri majore în privința modificărilor ce apar în stratul de material așchiat la operația de rectificare față de cea de strunjire legate de faptul că în cazul operației de rectificare căldura ce se degajă în piesă este de 6-15 ori mai mare decât în cazul strunjirii [132]. Din această cauză în stratul de la suprafața piesei apar modificări față de restul materialului în sensul că apare acest strat alb având o structură martensitică și o duritate mai mare decât a materialului de bază, iar imediat sub acesta apare un strat cu o duritate mai mică decât a materialului de bază. Shaw și Vyas [113] au arătat că trebuie evitată apariția unui astfel de strat care are o structură metastabilă și deosebit de

fragilă. Acest strat alb a fost observat și în cazul strunjirii materialelor cu duritate mare dar grosimea lui a fost doar de câțiva micrometri [3, 96, 109]. Un alt aspect ce afectează integritatea suprafeței este legat de tensiunile reziduale la întindere de valori ridicate ce apar în suprafața aşchiată și care tind către valoarea zero la o adâncime de aproximativ 200 μm [97].

1.4.5. Cerințe impuse sistemului tehnologic mașină-unealtă-dispozitiv-sculă-piesă MUDSP

O lungă perioadă de timp sculele aşchiatoare din materiale dure și extradure nu au putut fi folosite la întregul lor potențial datorită lipsei unor mașini-unelte suficient de rigide și precise. Binns [21] a fost unul dintre primii care a recunoscut acest lucru și care a scos în evidență faptul că aparentele limitări ale sculelor aşchiatoare din materiale ceramice, la strunjirea materialelor dure, se datorează în principal mașinilor-unelte inadecvate pentru astfel de operații. El a arătat că întregul sistem MUDSP trebuie să fie responsabil pentru rezultatele slabe obținute la acea vreme la încercările de a aşchia materiale dure cu scule din materiale ceramice. König și Gavrilaş [75, 54] susțin ideea că o singură verigă slabă a sistemului MUDSP poate conduce la apariția de vibrații ce are ca rezultat uzura rapidă a sculei din ceramică sau NCB. Mai mulți cercetători [75, 54, 120] au sistematizat cerințele pe care trebuie să le îndeplinească sistemul tehnologic MUDSP în ansamblul lui.

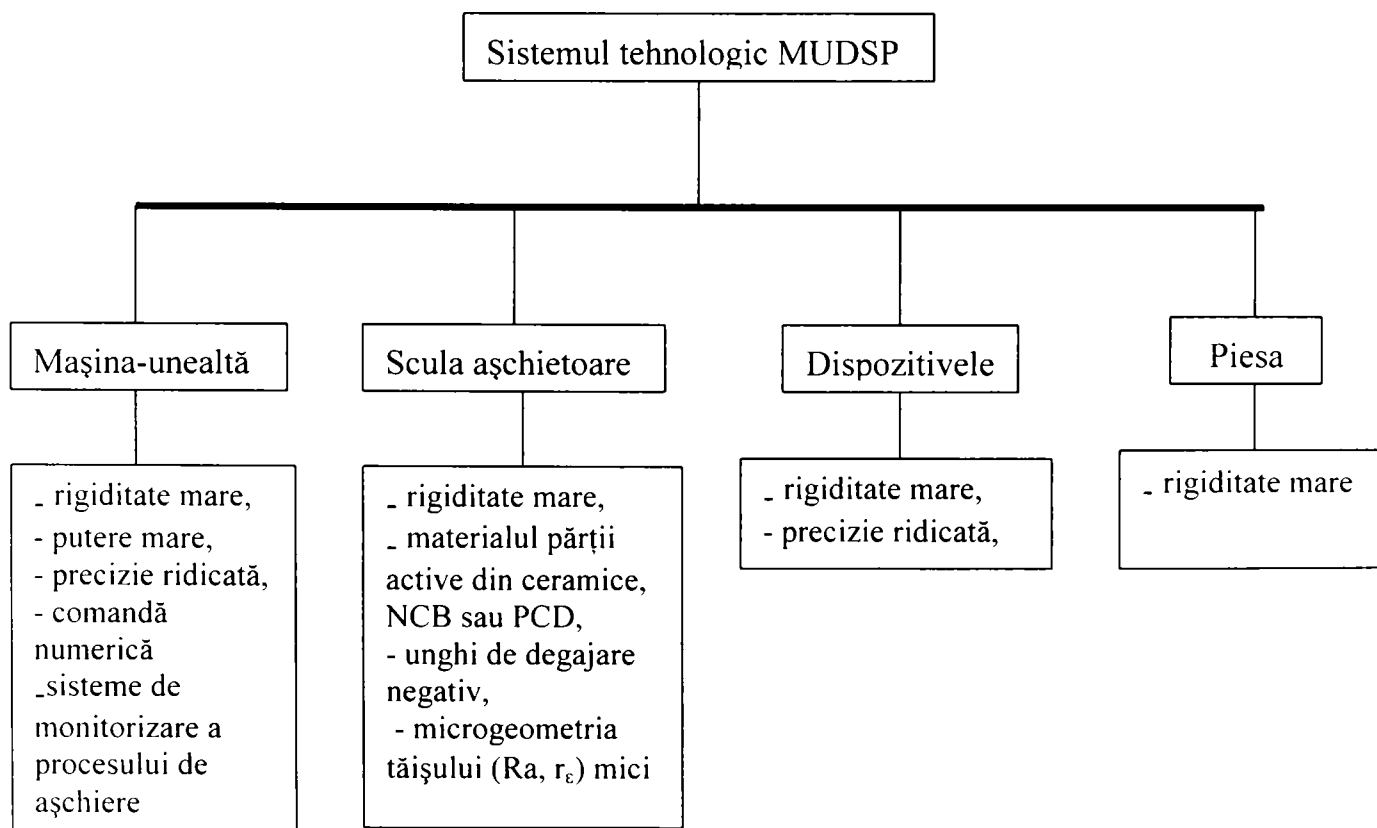


Figura 1.50. Cerințe ce trebuie îndeplinite de sistemul tehnologic MUDSP la aşchierea oțelurilor cu duritate mare

1.4.6. Concluzii

Experiența acumulată în ultimii 10-15 ani în domeniul prelucrării oțelurilor cu duritate de 45-65 HRC cu scule aşchietoare din materiale ceramice și NCBP permite să fie trasă următoarea concluzie: fiecărui material de prelucrat îi corespunde un material de sculă optim care diferă de celelalte materiale de sculă prin anumite caracteristici referitoare la concentrația de NCB, mărimea grăunților, tipul de NCB, liantul utilizat (material, granulație, proprietăți fizico-chimice, concentrație), etc. Cu alte cuvinte nu există o singură marcă de NCB sau ceramică care să satisfacă toate cerințele legate de productivitate, durabilitate, calitatea suprafeței aşchiate, precizia dimensională, etc. Oricum, un lucru este cert și anume, înlocuirea operației de rectificare este posibilă și chiar recomandată în unele cazuri dată fiind productivitatea ridicată a operației de strunjire comparativ cu rectificarea și datorită faptului că se obțin valori relativ apropiate referitoare la rugozitatea suprafeței prelucrate și a preciziei dimensionale. Totuși înlocuirea rectificării cu strunjirea dură necesită investigații ulterioare în special cu privire la cerințele impuse, legate de calitatea suprafețelor aşchiate.

Trebuie luate în considerare aspectele legate de rigiditatea statică și dinamică a mașinii-unelte, puterea mașinii-unelte la aşchiera oțelurilor cu duritate ridicată și nu în ultimul rând geometria și modul de pregătire al muchiei aşchietoare a sculei. Strunjirea oțelurilor cu duritate de 45-65 HRC este posibilă cu scule din nitrură cubică de bor policristalină și materiale ceramice (ceramice mixte și cu whiskers-uri). Ceramicile pe bază de nitrură de siliciu Si_3N_4 , se recomandă în special la aşchiera fontelor.

Uzura sculelor din ceramice și a celor din NCB la aşchiera oțelurilor având o duritate peste 45 HRC, implică o serie de mecanisme concurente care fac ca acest proces să fie insuficient cunoscut. Relevanța fiecărui mecanism al uzurii sculei aşchietoare depinde atât de materialul de prelucrat, materialul sculei cât și de parametrii regimului de aşchiere utilizat.

Referitor la integritatea suprafeței aşchiate, se apreciază că în timpul procesului de aşchiere în suprafața aşchiată sunt induse atât tensiuni termice cât și mecanice. Dacă componenta mecanică este dominantă atunci tensiunile reziduale vor fi tensiuni de compresiune, cum se întâmplă în cazul strunjirii. Dacă dimpotrivă, efectul termic este mai pregnant, cum se întâmplă în cazul operației de rectificare, datorită unei suprafețe mari de contact între piatra abrazivă și semifabricat, tensiunile induse vor fi tensiuni de

întindere care afectează negativ stratul de la suprafața piesei. Se apreciază că uzura sculei, viteza de aşchiere și avansul de aşchiere sunt principalii factori care influențează mărimea și caracterul modificărilor structurale din suprafața aşchiată.

La o analiză mai atentă a lucrărilor citate anterior, se poate aprecia că nu există o tendință de a privi optimizarea unui proces de prelucrare prin aşchiere a unui oțel cu duritate mare prin prisma corelării *durabilității sculei aşchietoare, a rugozității suprafeței aşchiate, a preciziei de prelucrare obținute, a fenomenelor termice ce apar în timpul procesului de aşchiere și a modificărilor de structură din stratul aşchiat.*

1.4.7. Obiectivele cercetărilor întreprinse în teza de doctorat

Obiectivele cercetărilor întreprinse în prezenta lucrare se referă la aspecte legate **OPTIMIZAREA** unui proces de prelucrare în stare dură a oțelului 100Cr6, tratat termic, cu duritatea 60-62 HRC din punct de vedere al *Durabilității* sculei aşchietoare, a *Rugozității Ra*, a suprafeței aşchiate și din punct de vedere al *Preciziei de prelucrare* obținute.

Cercetările întreprinse în teza de doctorat au avut drept scop principal optimizarea procesului de prelucrare utilizând metode *statistico-matematice* care să permită stabilirea condițiilor în care *Durabilitatea* sculei este maximă, *Rugozitatea* suprafeței obținute în urma prelucrării este minimă, iar *Precizia dimensională* este maximă. Dacă vor fi îndeplinite aceste condiții, atunci va fi posibilă înlocuirea operației de rectificare cu operația de strunjire lucru care constituie principalul deziderat al acestor cercetări dat fiind faptul că operația de rectificare este un procedeu de aşchiere cu consumuri energetice mari (10^7 daJ/cm^3) și care prezintă riscul unor deteriorări structurale termice la suprafața piesei. În acest fel rezultă o optimizare tehnico-economică a prelucrării cu scule din materiale extradure a unui oțel cu duritatea 60-62HRC. *Durabilitatea* ca factor de optimizare este indisolubil legată de uzura sculei, cunoscut fiind faptul că o durabilitate mare implică o uzură mică a sculei aşchietoare, care la rândul ei influențează în mod decisiv forțele de frecare din proces, fenomenele termice, forțele de aşchiere. Este bine cunoscut faptul că o uzură mică a sculei conduce la o îmbunătățire a microgeometriei (Rugozității) suprafeței și a preciziei dimensionale și de formă a suprafeței aşchiate.

Prin urmare *Durabilitatea* sculei aşchietoare și *Rugozitatea* suprafeței aşchiate au fost tratate ca funcții obiectiv, urmărindu-se influența materialului de sculă (nitrură

cubică de bor policristalină și materiale ceramice) precum și influența parametrilor regimului de așchiere asupra lor. Pe lângă acești factori de optimizare mai intervin și alți factori de influență menționați în lucrare.

În perioada efectuării acestor cercetări am beneficiat de o bursă de specializare de patru luni la Universitatea Federală din Minas Gerais, Belo Horizonte din Brazilia. În această perioadă am realizat cea mai mare parte a experimentelor în laboratoarele Departamentului de Inginerie Mecanică ale universității sus-menționate, la Centrul de Dezvoltare Tehnologică Nucleară și la Laboratorul de Termometrie Kelvin al Centrului de Dezvoltare Tehnologică al statului Minas Gerais. De asemenea am avut sprijinul unor companii cum ar fi „Manesmann” Ltd. care mi-a furnizat materialul necesar prelucrării și anume oțelul 100Cr6 la duritatea 62-64 HRC, „De Beers do Brasil Ltda.” și „Tecno-Tools Ferramentas e Abrasivos Ltda.” care mi-au furnizat o parte din materialele de sculă utilizate. Am realizat o serie de vizite la uzinele „FIAT” din Betim și „Proema” din Contagem pentru a vedea modul în care pot fi puse în practică rezultatele acestei cercetări ținând cont de faptul că uzinele „FIAT” realizează deja unele repere de la cutiile de viteză, prin înlocuirea operației de rectificare cu strunjirea în stare dură. O serie de măsurători legate de precizia dimensională a suprafețelor prelucrate au fost realizate în colaborare cu SC „DAEWOO” S.A. – Craiova unde de asemenea există unele repere de la cutiile de viteză la care s-a renunțat la operația de rectificare, în vederea înlocuirii ei cu strunjirea în stare dură.

2. ANALIZA STATISTICĂ A EXPERIMENTELOR

2.1. Generalități

În aproape toate domeniile de activitate sunt realizate experimente de către cercetători în vederea evidențierii anumitor aspecte referitoare la un proces sau sistem. Luat *ad literam* un experiment este de fapt un test. Într-o exprimare mai formală un experiment poate fi definit ca un test sau o serie de teste în care s-au operat mai multe modificări ale parametrilor de intrare astfel încât să poată fi observate și identificate motivele pentru care aceste schimbări ar putea fi observate la parametrii ce rezultă din acest proces [89].

În domeniul ingineriei experimentele joacă un rol important în proiectarea noilor produse, dezvoltarea proceselor de prelucrare, precum și în optimizarea diferitelor procese tehnologice. În orice experiment rezultatele și concluziile care pot fi trase depind în mare măsură de modul în care au fost colectate datele. În general experimentele sunt utilizate pentru a studia performanțele anumitor procese. Un sistem poate fi reprezentat ca în figura următoare:

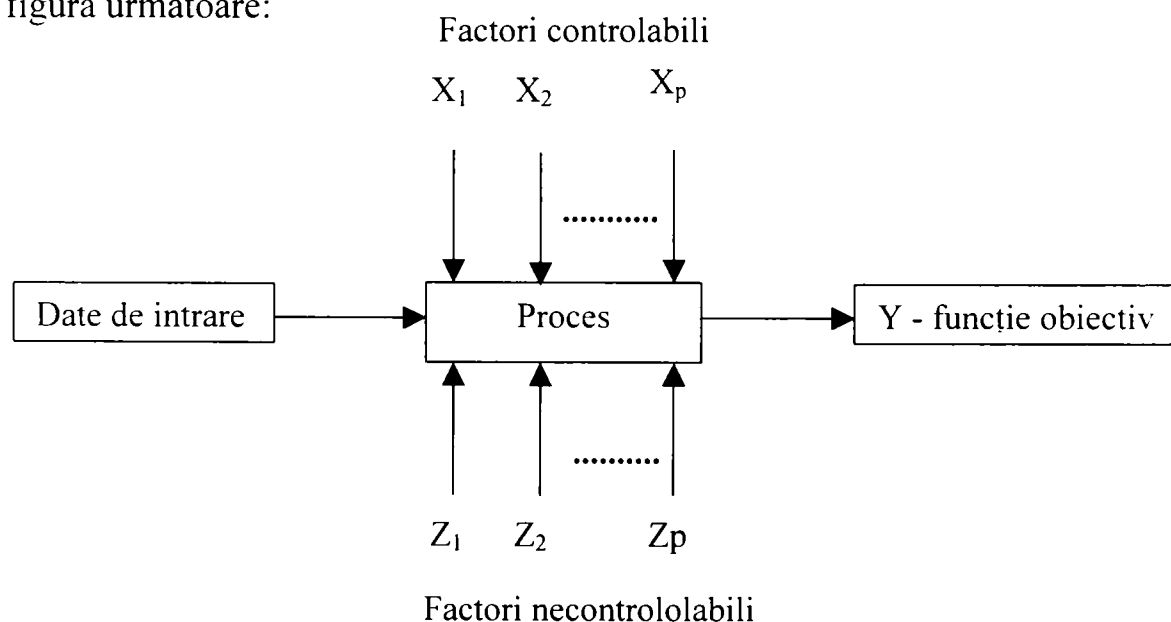


Figura 2.1. Modelul general al unui sistem [89]

Un astfel de sistem poate fi văzut ca o combinație de mașini, procedee, oameni și alte resurse care transformă anumite date de intrare într-o ieșire care are unul sau mai multe răspunsuri vizibile. Unele dintre variabilele procesului sunt controlabile X_1, X_2, \dots, X_p , iar altele nu sunt controlabile Z_1, Z_2, \dots, Z_p .

Obiectivele unui experiment includ următoarele aspecte [89]:

1. Determinarea acelor variabile care au cea mai mare influență asupra funcției răspuns (obiectiv).

2. Determinarea nivelelor de variație a variabilelor X astfel încât funcția obiectiv Y să fie aproape de valoarea dorită.
3. Determinarea nivelelor de variație pentru variabilele cunoscute X astfel încât variația funcției obiectiv Y, să fie cât mai mică.
4. Determinarea nivelelor de variație a variabilelor cunoscute X astfel încât efectul variabilelor necontrolabile Z, să fie minim.

2.2. Strategii de experimentare

Scopul activității de cercetare îl constituie până la urmă stabilirea dependenței funcționale care există între factorii de influență X_1, X_2, \dots, X_p și funcția obiectiv Y.

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_p) \quad (2.1)$$

Cu alte cuvinte se realizează modelarea matematică a acțiunii factorilor X_1, X_2, \dots, X_p asupra funcției obiectiv Y. Dintre obiectivele urmărite în urma modelării unui proces se remarcă [26, 90]:

- analiza sistemului sau procesului cu ajutorul modelului creat,
- modul cum acționează factorii de influență asupra procesului sau sistemului studiat,
- optimizarea procesului în raport cu factorii de influență luați în considerare.

Principalele cerințe pe care trebuie să le îndeplinească un model matematic se referă la concordanța ce trebuie să existe între valorile estimate cu ajutorul modelului matematic, respectiv ale funcției obiectiv și valorile reale ale funcției obiectiv, precum și acuratețea informațiilor obținute în vederea optimizării procesului respectiv. Pentru realizarea unui model matematic se poate folosi o schemă ca cea din figura 2.2.

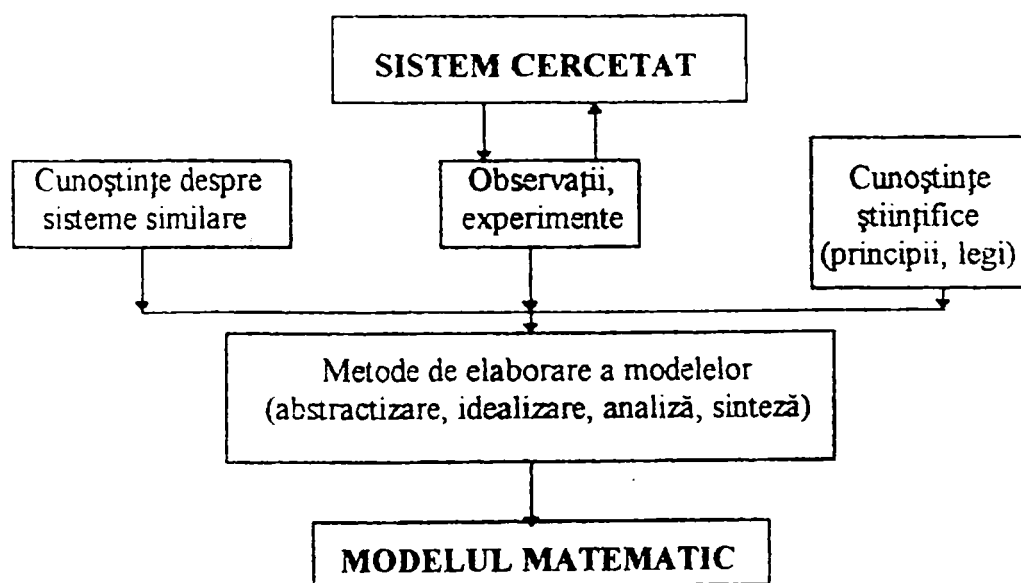


Figura 2.2 Modul de concepere al unui model matematic [40]

Din figura 2.2. se oate observa că în vederea realizării modelului matematic trebuie să se țină cont de datele existente despre sisteme asemănătoare sau similare, cunoștințe științifice cu caracter general, experimente proprii. În urma unei analize de sinteză a acestor date se poate trece la realizarea modelului matematic. Mai mulți autori [40, 99, 47] consideră că în vederea atingerii modelului matematic final trebuie parcurse o serie de cicluri complete de investigație, organizate iterativ și plasate pe o spirală convergentă către obiectivele cercetării ca în figura 2.3.

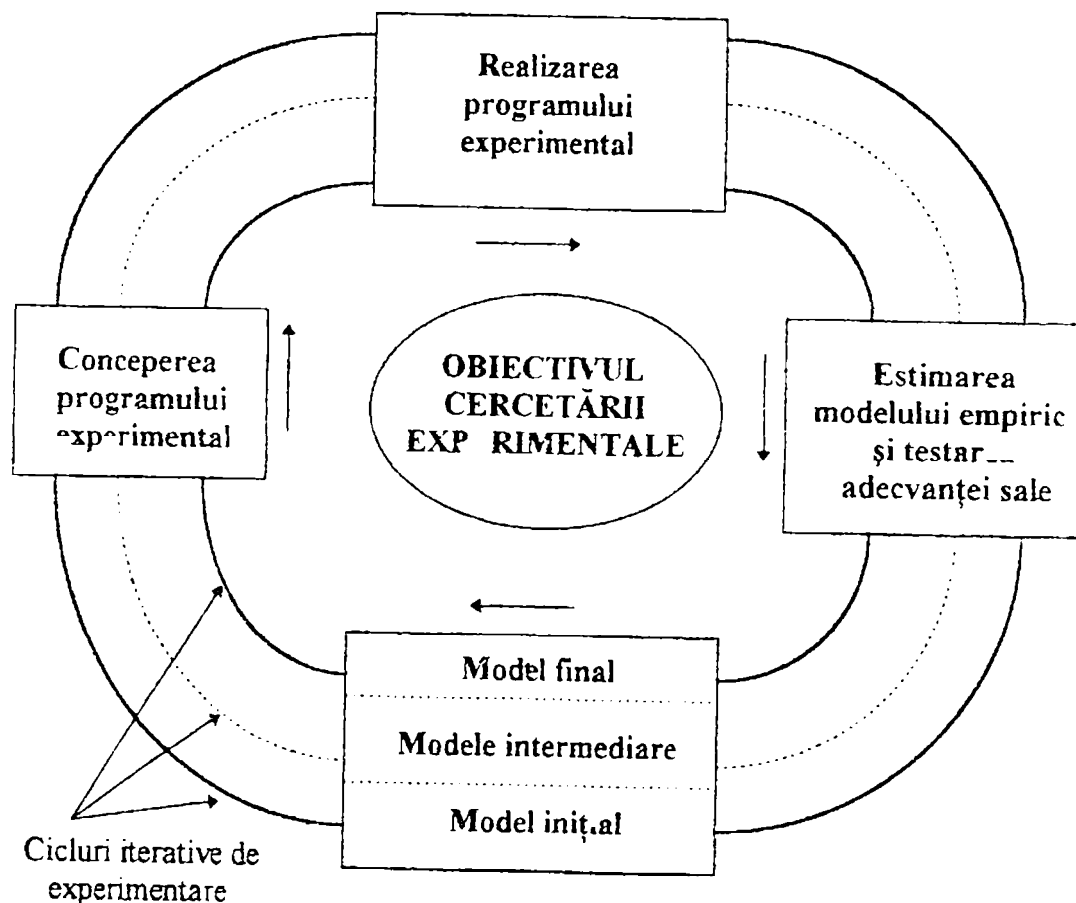


Figura 2.3. Reprezentarea modului de realizare a unui model matematic [40, 99]

Se observă că pentru realizarea modelului matematic final se parcurg o serie de cicluri iterative, fiecare dintre ele compuse la rândul lor din câteva etape:

- conceperea programului experimental,
- realizarea programului experimental,
- estimarea modelului empiric și testarea adecvantei sale,
- realizarea modelului matematic.

Pentru realizarea modelului matematic trebuie adoptată o strategie de experimentare sau de concepere a programului experimental. La ora actuală există o multitudine de strategii de experimentare și trebuie să se găsească acea strategie optimă care să permită obținerea

de cât mai multe informații despre procesul sau sistemul studiat realizând un număr cât mai mic de teste. Bineînțeles trebuie ca acest lucru să nu afecteze precizia de estimare a modelului matematic sau cu alte cuvinte acuratețea acestuia.

Una din strategiile de experimentare bazată pe principiul „un singur factor de studiat la un moment dat” care se numește strategia Gauss-Seidel presupune stabilirea unui punct de plecare și variația unuia dintre factorii de influență pe mai multe nivele de variație, ceilalți factori de influență fiind păstrați constanți la nivelul punctului de plecare. În acest fel se urmărește numai influența variației aceluia factor asupra funcției obiectiv. Acest tip de strategie de experimentare se mai numește și strategie unifactorială [42, 65]. Principalul dezavantaj al acestei strategii de experimentare îl constituie faptul că exclude orice fel de interacțiune între factorul de influență care variază și ceilalți factori de influență. Un alt dezavantaj este legat de faptul că pentru a vedea efectul variației tuturor factorilor de influență asupra funcției obiectiv trebuie să se varieze fiecare factor de influență pe același număr de nivele de variație, ceea ce conduce la un volum mare de experimente care implică la rândul lor un volum mare de timp și cheltuieli ridicate. [87]

O altă strategie de experimentare a fost pusă la punct de Box și Wilson [27, 28] și care este caracterizată de variația tuturor factorilor de influență în fiecare moment. Această strategie de experimentare se mai numește și multifactorială pentru că implică un experiment factorial care presupune variația tuturor factorilor de influență pe fiecare nivel de variație. În acest fel influența fiecărui factor asupra valorilor funcției obiectiv este determinată de toate încercările efectuate, micșorându-se astfel volumul de experimente [90].

O strategie de experimentare importantă și care este utilizată în special când se urmărește optimizarea unui proces este strategia care implică conceptul de suprafață de răspuns. Metodologia bazată pe utilizarea conceptului de suprafață de răspuns conține o serie de tehnici matematice și statistice care sunt folosite atunci când se urmărește analiza statistică și modelarea matematică a unei funcții obiectiv care este influențată de mai multe variabile independente și optimizarea procesului respectiv. În majoritatea problemelor ce privesc conceptul de suprafață de răspuns, forma relației dintre funcția obiectiv și variabilele independente nu este cunoscută. Prin urmare, primul pas îl constituie găsirea unui model matematic regresional care să aproximeze cât mai bine legătura dintre funcția obiectiv și variabilele independente. De cele mai multe ori un

polinom de grad mic este folosit în acest scop. Dacă răspunsul este bine modelat de o funcție liniară atunci modelul utilizat va fi un polinom de ordinul I. Dacă există o zonă de curbura în sistem atunci trebuie utilizat ca model matematic un polinom de ordin superior, cum ar fi de exemplu un polinom de ordinul II. Aproape toate problemele ce implică conceptul de suprafață de răspuns utilizează unul sau ambele tipuri de polinoame (gradul I sau II) ca modele matematice. Desigur că este puțin probabil ca un model matematic polinomial să reprezinte o aproximare rezonabilă a relației funcționale dintre variabilele independente și funcția obiectiv, pe întreg domeniul variabilelor independente, dar într-o regiune relativ restrânsă aceste modele matematice lucrează foarte bine [143]. Metoda suprafeței de răspuns este o metodă secvențială. De multe ori se întâmplă să ne găsim într-un punct al suprafeței care este departe de optim utilizând condițiile curente de experimentare – figura 2.4 [90].

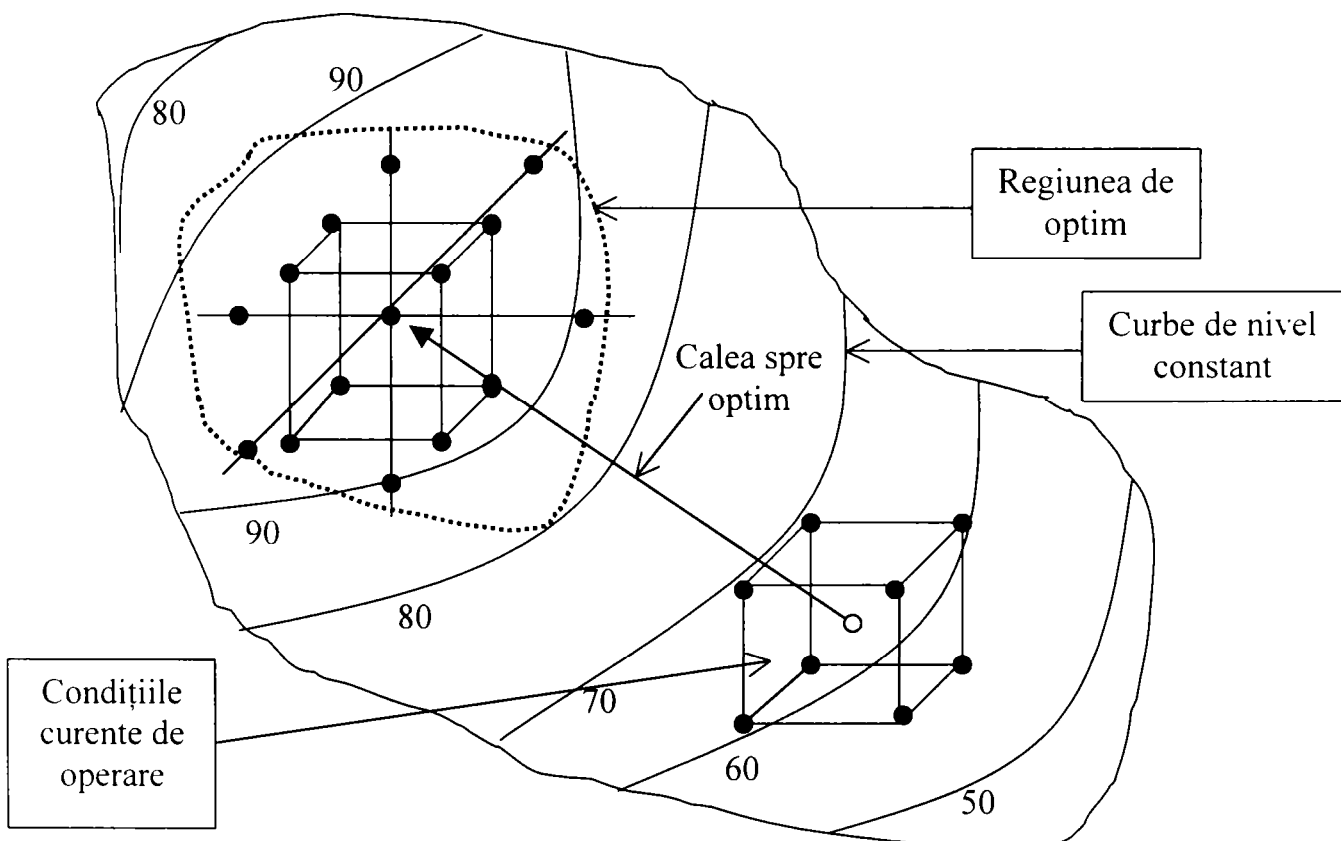


Figura 2.4. Natura secvențială a metodei suprafeței de răspuns [90]

Scopul utilizării acestei metode este acela de a îl conduce pe experimentator de-a lungul căii spre optim până la regiunea în care se găsește *optimul*. Odată „găsită” regiunea de optim poate fi utilizat un model matematic mai elaborat cum ar fi de exemplu un polinom de gradul al doilea [91]. În zona în care curbura suprafeței de răspuns este prea

accentuată pentru ca un model matematic de forma unui polinom de gradul I să dea rezultate din punct de vedere al preciziei estimării, se utilizează ca modele matematice polinoame de gradul II până la identificarea cu precizie a optimului. Aceste modele care se numesc modele de ordin superior pot fi explicitate fie prin dirijarea factorilor de influență pe trei nivele (lucru care mărește volumul experimentului), fie prin utilizarea unui experiment central compus [90, 129].

În mod obișnuit studiul suprafeței de răspuns se face prin secționarea acesteia cu plane paralele cu planul factorilor de influență. Curbele rezultate din intersecția suprafeței de răspuns cu aceste plane paralele se numesc curbe nivel constant sau sau curbe de răspuns constant.

2.3. Metode de analiză statistică

Cele mai utilizate metode de analiză statistică clasică a datelor experimentale sunt analiza dispersională și analiza regresională [90, 137]. Analiza dispersională mai poartă numele de analiza varianței. Analiza dispersională este o metodă statistică de analizare a datelor de măsurare care sunt de fapt valori obținute experimental ale unor funcții obiectiv ce depind de unul sau mai mulți factori de influență cu acțiune simultană. Scopul analizei dispersionale este de a stabili semnificația factorilor de influență asupra funcției obiectiv ce face obiectul analizei. În sistemele fizice legătura dintre funcția obiectiv Y și factorii de influență poate fi scrisă sub forma:

$$Y = \phi(x_1, x_2, \dots, x_k, z_1, z_2, \dots, z_m, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d) \quad (2.2)$$

unde:

- x_1, x_2, \dots, x_k – factori de influență controlabili;
- z_1, z_2, \dots, z_m – factori de influență necontrolabili, aleatori, care generează erorile aleatoare;
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_d$ – parametri statistici, de regulă necunoscuți, numiți coeficienți de influență.

Dacă numărul factorilor de influență este $k > 1$, analiza se numește multiplă, iar dacă numărul de funcții obiectiv analizate Y_q este $q > 1$, analiza se numește multidimensională.

Dacă toți factorii de influență x_1, x_2, \dots, x_k prezintă nivele discrete numerice sau nu, analiza devine calitativă și se numește analiză dispersională.

Dacă toți factorii de influență x_1, x_2, \dots, x_k sunt variabile continue, atunci analiza devine cantitativă și se numește analiza regresională. Obiectivul principal al analizei regresionale

este elaborarea modelului matematic, regresional al obiectului cercetării, care să descrie comportarea sistemului respectiv în domeniul dat al experimentării, studiul mecanismelor de inițiere și acțiune a funcționalității sistemului cercetat, analiza caracterului și gradului de influență a diferiților factori cu ajutorul modelului obținut., definirea valorilor optime ale factorilor de influență în raport cu funcția obiectiv Y sau alte funcții de optimizare ale obiectului cercetării și conducerea optimală a acestuia.

Dacă unii factori de influență prezintă nivele discrete, iar alții sunt mărimi continue, analiza se numește analiza covarianței. Cu alte cuvinte există trei categorii de modele în funcție de tipul de analiză realizat și anume: modelele dispersionale, regresionale sau de covarianță.

În cazul cercetării unui fenomen sau proces una din problemele cele mai frecvent întâlnite este aceea de a explicita pe baza rezultatelor experimentale, dependența funcțională (regresională) dintre funcția obiectiv și factorii de influență. Una din metodele aplicate în mod curent în prelucrarea rezultatelor măsurărilor prin analiză regresională este metoda celor mai mici pătrate. Această metodă permite stabilirea coeficienților de regresie pentru o formă impusă a relației funcționale dintre variabilele independente și funcția obiectiv.

Așa cum am mai menționat în cazul în care suprafața de răspuns prezintă o zonă de curbura se recurge la modelarea cu polinoame de ordin superior, de preferință de ordinul II. Modelarea cu ajutorul experimentelor factoriale are ca o primă etapă precizarea funcției obiectiv și identificarea factorilor de influență. Etapa imediat următoare alegerii funcției obiectiv și identificării factorilor de influență o constituie stabilirea domeniului experimentării. Practic stabilirea domeniului de experimentare presupune două faze:

- stabilirea punctului central al experimentului,
- stabilirea intervalelor de variație ale factorilor de influență.

Din considerente practice nivelul superior al unui factor de influență se codifică „+1”, iar nivelul inferior cu „-1”. Coordonatele punctului central al experimentului vor avea valoarea „0”. În continuare se trece la planificarea experimentelor prin precizarea formei matricii program.

Matricea program a unui experiment factorial la care nivelele factorilor de influență sunt notate cu valori codificate „+1” și „-1”, iar valorile funcției obiectiv sunt determinate experimental se prezintă ca în tabelul 2.1

Tabelul 2.1 Matricea program a unui experiment factorial

Număr încercări	Valori codificate ale factorilor de influență						Valori funcție obiectiv
	x_1	x_2	...	x_k	...	x_k	y
1	-1	-1	...	-1	...	-1	y_1
2	-1	-1	...	-1	...	-1	y_2
...
i	-1	+1	...	-1	...	-1	y_i
...
N	-1	-1	...	+1	...	+1	y_N

În lucrarea de față s-a folosit un experiment factorial central compus rotabil cu două replici în punctul central cu un număr de 16 încercări și un experiment factorial complet cu trei factori de influență și două nivele de variație 3^2 . Matricile program pentru cele două experimente sunt prezentate în capitolul 3 (tabelul 3.2) pentru experimentul factorial central compus și în capitolul 4 pentru experimentul factorial complet 3^2 .

Volumul programelor factoriale central-compuse se calculează cu relația:

$$N = N_L + N_\alpha + N_0 \quad (2.3)$$

în care:

- N_L reprezintă numărul de măsurători provenit de la modelarea liniară,
- N_α reprezintă numărul de măsurări suplimentare, efectuate „în stea”, la distanța α față de centrul programului experimental,
- N_0 reprezintă numărul de măsurări suplimentare, efectuate în centrul programului experimental.

Dacă ecuația modelului experimental este o ecuație polinomială de gradul II care este cea mai des utilizată, având forma:

$$y = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{j,u=1}^k b_{ju} x_j x_u + \sum_{j=1}^k b_{jj} x_j^2 \quad (2.4)$$

unde:

- y – funcția obiectiv,
- x_j - factorii de influență,

- b_0, b_i, b_{ju}, b_{ij} - coeficienții de regresie.

Matricile program ale experimentelor rotabile nu îndeplinesc în general condiția de ortogonalitate motiv pentru care calculul coeficienților de regresie și al dispersiilor corespunzătoare acestora, se face cu relații mai complexe:

- pentru termenul liber b_0 :

$$b_0 = \frac{A}{N} \left[2\lambda^2 (k+2) \sum_{i=1}^N y_i - 2\lambda C \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N x_{ij}^2 y_i \right] \quad (2.5)$$

- pentru coeficienții b_i :

$$b_i = \frac{C}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij} y_i \quad (2.6)$$

- pentru coeficienții b_{ju} :

$$b_{ju} = \frac{C^2}{N\lambda} \sum_{i=1}^N x_{ij} x_{iu} y_i \quad (2.7)$$

- pentru coeficienții b_{ij} :

$$b_{ij} = \frac{A}{N} \left[C^2 [(k+2)\lambda - k] \sum_{i=1}^N x_{ij}^2 y_i + C^2 (1-\lambda) \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^N x_{ij}^2 y_i - 2\lambda C \sum_{i=1}^N y_i \right] \quad (2.8)$$

unde:

$$\lambda = \frac{kN}{(k+2)(N-N_0)}, \quad (2.9) \quad k \text{ fiind numărul factorilor de influență, } N \text{ este dat de}$$

relația (2.2), iar N_0 este numărul de măsuratori suplimentare efectuate în centrul experimentului;

$$A = \frac{1}{2\lambda[(k+2)\lambda - k]}, \quad (2.10)$$

$$C = \frac{N}{\sum_{i=1}^N x_{ij}^2} \quad (2.11)$$

Coeficienții de regresie pentru polinomul de gradul al doilea având forma dată de relația (2.3) au fost calculați cu ajutorul software-ului STATGRAPHICS. Coeficienții modelului regresional exprimă influența factorilor de influență x_j asupra funcției obiectiv y . Valoarea fiecărui coeficient arată amplitudinea influenței factorului pe care acesta îl

înmulțește. Trebuie menționat că semnul coeficientului de regresie indică sensul influenței factorului asupra funcției obiectiv (de exemplu dacă semnul este “-”, înseamnă că factorul de influență tinde să diminueze valoarea funcției obiectiv , iar dacă este „+” tinde să amplifice valoarea funcției obiectiv).

Conceptul care stă la baza aplicării majorității testelor statistice constă în compararea dispersiei rezultatelor datorată erorilor aleatoare (care se mai numește și dispersie de reproductibilitate) cu dispersia rezultatelor datorată unor cauze sistemice. Cu alte cuvinte estimarea dispersiei reproductibilității este o etapă obligatorie în analiza modelului regresional. De obicei estimarea dispersiei reproductibilității s_0^2 , se face cu ajutorul mai multor măsurări replicate în centrul domeniului experimental:

$$s_0^2 = \frac{\sum_{v=1}^c (y_{0v} - \bar{y}_0)^2}{c - 1} \quad (2.12)$$

în care:

- c – numărul de replici $v=1, \dots, c$ executate în punctul central pentru calculul dispersiei reproductibilității,
- y_{0v} - valorile măsurate y_{01}, \dots, y_{0c} ale funcției obiectiv în centrul domeniului experimental,
- \bar{y}_0 - media valorilor y_{0v} măsurate ale funcției obiectiv în centrul domeniului experimental.

Cu ajutorul dispersiei reproductibilității pot fi calculate dispersiile de estimare pentru coeficienții de regresie.

Relațiile (2.13, 2.14, 2.15 și 2.16) reprezintă dispersiile corespunzătoare coeficienților de regresie.

$$s_{b_0}^2 = \frac{2A\lambda^2(k+2)}{N} s_0^2 \quad (2.13)$$

$$s_{b_j}^2 = \frac{C}{N} s_0^2 \quad (2.14)$$

$$s_{b_{ju}}^2 = \frac{C^2}{\lambda N} s_0^2 \quad (2.15)$$

$$s_{bij}^2 = \frac{AC^2[(k+1)\lambda - (k-1)]}{N} s_0^2 \quad (2.16)$$

unde A și C sunt date în relațiile (2.10) și (2.11).

Următoarele etape ce contribuie la analiza modelului matematic sunt:

- verificarea semnificației statistice a coeficienților polinomului de regresie cu ajutorul testului Student,
- estimarea valorilor funcției obiectiv și verificarea adecvantei modelului cu ajutorul testului Fisher a dispersiei de concordanță cu dispersia reproductibilității.

Dacă unul din coeficienții pătratici, b_{jj} , este nesemnificativ, după excluderea acestuia din model este necesară recalcularea coeficienților ecuației de regresie. datorită interdependenței existente între termenii pătratici, apărute ca urmare a neortogonalității coloanelor corespunzătoare factorilor x_j^2 din matricea program. Din acest motiv, în mod frecvent pentru studierea acestei categorii de programe factoriale se apelează la programe de calculator specializate, (în lucrarea de față este vorba de programul STATGRAPHICS) prin care calculul valorii coeficienților și al dispersiilor corespunzătoare se face, ca și în cazul celorlalte programe factoriale prin metoda celor mai mici pătrate.

Dat fiind modul de structurare al matricii program a experimentului, calculul dispersiilor care se compară cu ajutorul testului Fisher prezintă unele particularități și anume:

- dispersia reproductibilității, s_0^2 , se poate estima cu ajutorul determinărilor N_0 efectuate în punctul central al programului experimental (număr de grade de libertate $v_2=N_0-1$),

- calculul dispersiei de concordanță s_{conc}^2 presupune:

- a) calculul sumei pătratelor diferențelor dintre valorile estimate și cele măsurate, SS_N pentru toate cele N puncte ale experimentului;
- b) determinarea sumei de pătrate corespunzătoare dispersiei de concordanță, $SS_{conc} = SS_N - SS_0$ (2.17)

unde SS_0 reprezintă suma pătratelor diferențelor între valorile măsurate în cele N_0 determinări efectuate în punctul central și media aritmetică \bar{y}_0 a acestor valori.

- c) numărul gradelor de libertate corespunzător dispersiei de concordanță

este:
$$v_1 = N - k' - (N_0 - 1) \quad (2.18)$$

unde k reprezintă numărul termenilor rezultați, semnificativi ai polinomului de regresie;

d) stabilirea valorii dispersiei de concordanță cu relația:

$$S_{conc}^2 = \frac{SS_{conc}}{\nu_1} \quad (2.19)$$

Verificarea adecvantei modelului se face prin compararea cu ajutorul testului Fisher, F , a dispersiei de concordanță cu dispersia de reproductibilitate.

$$F_{calc} = \frac{S_{conc}^2}{S_0^2} \quad (2.20)$$

dcă $F_{calc} < F_{tab}$, în care $F_{tab} = F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$ atunci cu siguranța dată de probabilitatea $P=1-\alpha$ concordanța dintră valorile estimate și cele măsurate este mulțumitoare și se consideră că modelul găsit descrie în mod adecvat procesul sau fenomenul studiat.

- α poartă denumirea de prag de semnificație,
- $P=1-\alpha$ reprezintă nivelul de încredere

În expresia lui F_{tab} , ν_1 și ν_2 au următoarea semnificație:

- ν_1 numărul de grade de libertate cu care se calculează S_{conc}^2 ,

$$\nu_1 = N - k \quad (2.21)$$

- ν_2 numărul de grade de libertate cu care se calculează S_0^2 ,

$$\nu_2 = C - 1 \quad (2.22)$$

Valorile criteriului F pentru pragul de semnificație $\alpha=0,05$ sunt prezentate în Anexa 1 în funcție de numărul de grade de libertate ν_1 și ν_2 .

3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

3.1. Metode de cercetare utilizate în vederea realizării experimentelor

Cercetările experimentale ce fac obiectul prezentei lucrări au vizat studierea următoarelor fenomene care însoțesc procesul de aşchiere al oțelurilor cu duritatea mai mare de 45 HRC, după cum urmează :

- analiza durabilității sculei din punct de vedere al influenței parametrilor regimului de aşchiere și al materialului sculei aşchietoare la strunjirea oțelului de rulmenți 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC,
- analiza rugozității suprafeței aşchiate la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC și stabilirea influenței parametrilor regimului de aşchiere și a materialului sculei asupra rugozității,
- studierea fenomenului de uzură a sculelor aşchietoare în funcție de materialul de sculă utilizat (două tipuri de scule ceramice și două tipuri de scule din nitrură cubică de bor policristalină-NCBP) și funcție de viteza și avansul de aşchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC,
- analiza preciziei dimensionale obținute la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC în funcție de materialul sculei aşchietoare și de anumiți parametri ai regimului de aşchiere (V_c și f_n),
- studiul influenței parametrilor regimului de aşchiere și a materialului sculei (două tipuri de scule ceramice și trei tipuri de scule din nitrură cubică de bor policristalină-NCBP) asupra temperaturii din zona de aşchiere,
- analiza modificărilor stratului superficial aşchiat în funcție de parametrii regimului de aşchiere și a materialului sculei (două tipuri de scule ceramice și trei tipuri de scule din nitrură cubică de bor policristalină-NCBP)
- analiza formei aşchiilor rezultate în urma strunjirii oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu diferite materiale de sculă și regimuri de aşchiere diferite.

Experimentările s-au desfășurat pe mai multe etape. Într-o primă etapă a fost studiată influența vitezei de aşchiere V_c , a avansului de aşchiere f_n , și a adâncimii de aşchiere a_p asupra a două funcții obiectiv și anume durabilitatea sculei și rugozitatea suprafeței aşchiate. Ca material de sculă s-a folosit ceramica mixtă CC650 - Al_2O_3+TiC . Atât durabilitatea cât și rugozitatea au fost tratate ca și funcții obiectiv, iar parametrii

regimului de aşchiere ca și variabile independente. Deoarece s-a urmărit optimizarea funcțiilor obiectiv s-a apelat la conceptul de suprafață de răspuns în vederea optimizării procesului de aşchiere. Pentru început a trebuit găsit un model matematic care să estimeze cu o precizie cât mai mare dependența funcțională dintre variabilele independente și funcția obiectiv. Așa cum s-a arătat și în capitolul 2, paragraful 2.2, cea mai întâlnită formă a funcției matematice de legătură între funcția obiectiv și factorii de influență este forma polinomială datorită facilităților de prelucrare matematică pe care le implică [40]. Având trei factori de influență s-a optat pentru un experiment cu trei nivele de variație pentru fiecare factor de influență. Acest lucru presupune un experiment factorial complet cu $3^3 = 27$ de teste plus două replici în punctul central deci în total 29 de încercări. Dat fiind numărul relativ ridicat de încercări care trebuie realizate în eventualitatea alegerii unui experiment factorial complet și date fiind costurile ridicate ale materialului de sculă, s-a concluzionat că este preferabil să se utilizeze un experiment factorial central compus $2^3 +$ stea, care este recomandat în cazul suprafeței de răspuns în zonele cu curbura ridicată ale acesteia (zone de optim) [90, 29]. Acest tip de experiment se utilizează atunci când experimentatorul deține informații apriorice în legătură cu localizarea zonei de optim. Una din proprietățile importante ale matricei program pentru un experiment central compus este **rotabilitatea**. În cazul unui experiment central compus de ordinul doi, rotabil, punctele experimentale sunt distribuite pe suprafața unei sfere la distanțe egale față de punctul central [40]. Pentru o funcție obiectiv dependentă de trei variabile independente, programul experimental central compus rotabil are punctele experimentale dispuse în vârfurile unui cub (8 puncte) și unui octaedru (6 puncte) la care se adaugă un număr de măsurări efectuate în punctul central al experimentului. În figura 3.1 este prezentat modelul geometric pentru un experiment central compus cu 14 încercări plus 2 în punctul central. Se observă că numărul de încercări (16) este mai redus decât în cazul unui experiment factorial complet (29), cu același număr de factori de influență (3), iar precizia de estimare nu este afectată în mare măsură.

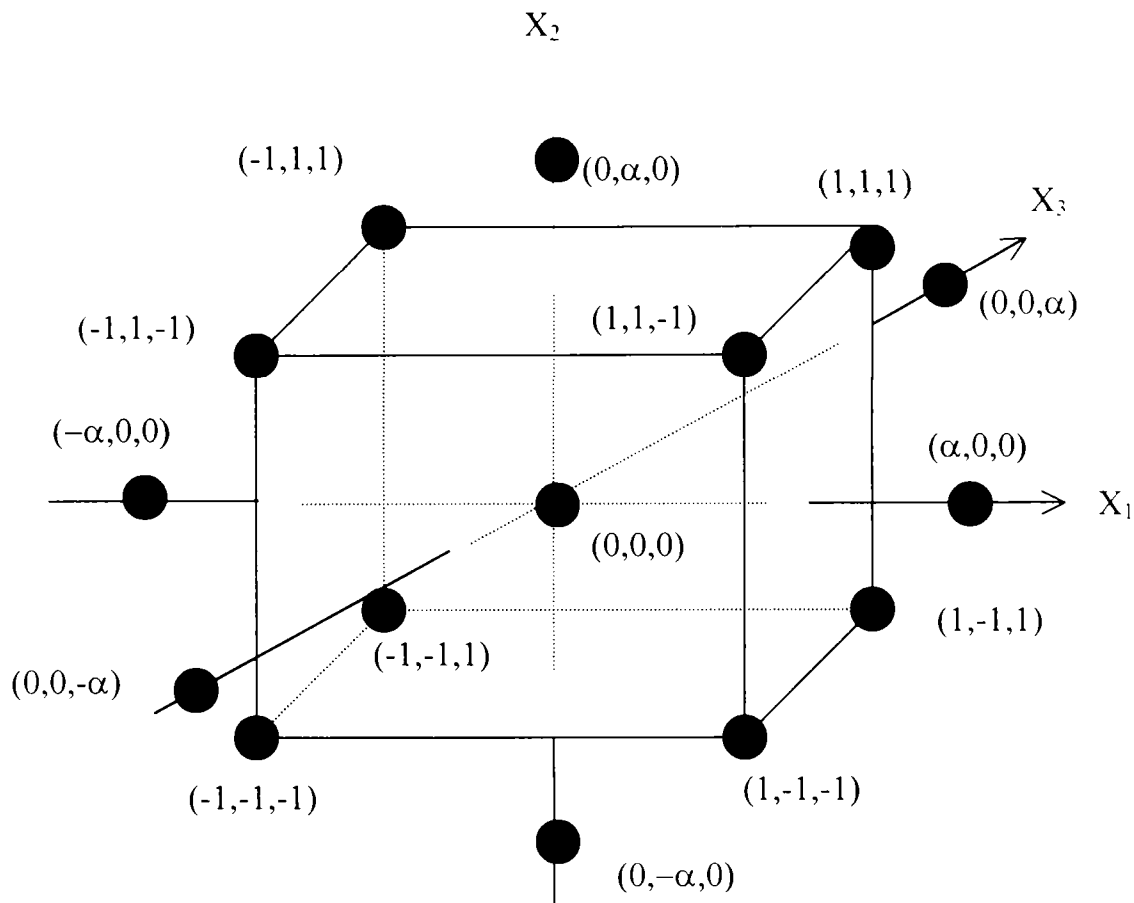


Figura 3.1. Modelul geometric pentru un experiment central compus cu 14 încercări și două încercări în punctul central

Pentru un experiment factorial central compus $2^3 + \text{stea}$ valoarea distanței axiale α la care trebuie efectuate determinările suplimentare este $\alpha=1,68179$, adică $\alpha=1,682$ calculat cu ajutorul software-ului Statgraphics. Așa cum s-a mai menționat modelul matematic trebuie să aproximeze cât mai bine legătura dintre funcția obiectiv și variabilele independente. Dacă există o curbura în sistem (cazul de față) trebuie utilizat ca model matematic un polinom de gradul doi. Considerând că funcția obiectiv este durabilitatea atunci modelul matematic pentru un polinom de gradul doi are forma:

$$Y = \beta_0 + Ax_1 + Bx_2 + Cx_3 + ABx_1x_2 + ACx_1x_3 + BCx_2x_3 + AAx_1^2 + BBx_2^2 + CCx_3^2; \quad (3.1)$$

Y -durabilitatea sculei T [min],

A -viteza de așchiere V_c [m/min],

B -avansul f_n [mm/rot]

C -adâncimea de așchiere a_p [mm].

β_0 -constant

Utilizând analiza dispersională pot fi determinați coeficienții polinomului de ordinul 2 și se poate obține în acest fel modelul matematic.

La alegerea valorilor fizice ale coordonatelor punctului central precum și a nivelului superior respectiv inferior al variabilelor independente (în cazul de față parametrii regimului de așchiere), s-a ținut cont de recomandările fabricantului de scule așchietoare de acest tip și anume firma Sandvik Coromant [151]. Pentru analiza rezultatelor s-a folosit programul Statgraphics, produs al firmei Microsoft. Acest software nu lucrează cu valori fizice pentru variabilele independente, ci cu valorile codificate ale acestora. Tabelul 3.1 prezintă corelația dintre valorile fizice și cele codificate ale variabilelor independente pentru experimentul central compus de ordinul doi.

Tabel 3.1. Corelația dintre valorile fizice și cele codificate pentru experimentul central compus de ordinul doi plus stea

Parametru	Valoare codificată	Valoare fizică		
		$X_1 \Leftrightarrow V_c$ [m/min]	$X_2 \Leftrightarrow f_n$ [mm/rot]	$X_3 \Leftrightarrow a_p$ [mm]
Punctul central $X_i=0$	0	140	0.15	0.25
Intervalul de variație D_j	Δ_j	40	0.075	0.1
Nivel superior X_{isup} .	+1	180	0.22	0.35
Nivel inferior X_{iinf} .	-1	100	0.08	0.15
Braț pozitiv "stea"	$+\alpha$	210	0.28	0.41
Braț negativ "stea"	$-\alpha$	70	0.02	0.1

Deoarece unele valori rezultate din tabelul 3.1. ca de exemplu $f_n=0,276$ mm/rot sau $V_c=207.28$ sunt mai greu de atins în practică datorită limitărilor mașinii-unelte s-a procedat la rotunjirea acestora.

- $f_n= 0,276 \cong 0,28$ mm/rot,
- $V_c= 72,72 \cong 70$ m/min,
- $V_c=207,28 \cong 210$ m/min,
- $a_p=0,08 \cong 0,1$ mm.

Matricea program a experimentului central compus cu două replici în punctul central și trei factori de influență este prezentată în cele ce urmează.

Tabelul 3.2. Matricea program a experimentului central compus de ordinul doi plus stea pentru primul set de experimente

Test	Viteza (m/min)	Avansul (mm/rot)	Adancimea (mm)	Durabilitatea (min)	Rugozitatea (μm)
1	0.000000	0.000000	0.000000	11.37	0.45
2	-1.000000	-1.000000	-1.000000	108.57	0.65
3	1.000000	-1.000000	-1.000000	33.33	1.78
4	-1.000000	1.000000	-1.000000	36.72	1.15
5	1.000000	1.000000	-1.000000	0.69	2.28
6	-1.000000	-1.000000	1.000000	58.56	0.63
7	1.000000	-1.000000	1.000000	2.77	0.47
8	-1.000000	1.000000	1.000000	23.81	1.46
9	1.000000	1.000000	1.000000	0.28	1.76
10	-1.681793	0.000000	0.000000	42.46	0.52
11	1.681793	0.000000	0.000000	0.28	0.96
12	0.000000	-1.681793	0.000000	65.12	0.62
13	0.000000	1.681793	0.000000	0.14	2.37
14	0.000000	0.000000	-1.681793	46.44	1.12
15	0.000000	0.000000	1.681793	2.70	0.72
16	0.000000	0.000000	0.000000	11.62	0.40

Deoarece s-a hotărât ca în urma experimentului să se obțină informații referitoare la durabilitatea sulei și la rugozitatea suprafeței așchiate, vor exista două funcții obiectiv și anume:

- Y1 – Durabilitatea sculei,
- Y2 – Rugozitatea suprafeței așchiate.

În vederea obținerii unei valori a rugozității comparabilă cu cea obținută la rectificare, deoarece scopul final îl constituie înlocuirea operației de rectificare, pot fi acceptate valori ale rugozității $Ra=0,8-1 \mu\text{m}$ [54, 150].

În ceea ce privește criteriul de uzură utilizat, STAS 12046/2 –84 recomandă o uzură medie $V_{Bmed}=0,3 \text{ mm}$. Atunci când însă se urmărește obținerea unor finisaje avansate la prelucrarea oțelurilor cu duritate mare, mai mulți autori recomandă ca și criteriu de uzură $V_B=0,2 \text{ mm}$ [54, 4, 53, 100, 102, 68].

O a doua etapă a testelor experimentale a constat în studierea durabilității sculei și a rugozității suprafeței așchiate în funcție de materialul sculei, utilizându-se în acest sens patru materiale de sculă diferite, precum și în funcție de viteza și avansul de așchiere. După cum se poate observa s-a renunțat în cadrul variabilelor independente la adâncimea de așchiere deoarece la precedentul test constând într-un experiment central compus 2^3 + stea cu 16 încercări, s-a concluzionat că influența adâncimii de așchiere atât asupra durabilității sculei cât și asupra rugozității așchiate a fost mult mai mică în raport cu ceilalți doi parametri ai regimului de așchiere.

În cadrul celui de-al doilea set de experimente s-a utilizat un experiment factorial complet cu doi factori de influență (viteza și avansul de așchiere) fiecare factor având trei nivele de variație. Cu alte cuvinte s-a folosit un experiment de tipul 3^2 care necesită 9 încercări pentru fiecare tip de material de sculă împarte, deci în total 36 de încercări pentru cele 4 tipuri de materiale de sculă utilizate, cu diferite regimuri de așchiere păstrând constantă adâncimea de așchiere la o valoare considerată optimă de producătorii de scule așchietoare [145, 151] și ținând cont și de experimentul precedent. Trebuie menționat faptul că toate plăcuțele așchietoare au prezentat aceeași geometrie fiind montate în același suport port-cuțit, astfel încât geometria sculei să fie aceeași în cadrul tuturor testelor realizate și să nu fie considerată un factor de influență.

În cazul celui de-al doilea experiment s-au folosit ca materiale de sculă așchietoare două materiale pe bază de nitrură cubică de bor policristalină-NCBP, CB7020 și DBN45, precum și alte două materiale ceramice CC650 (Al_2O_3+TiC) și CC670 (Al_2O_3+SiC) – ceramică cu fibre de SiC.

Experimentele s-au desfășurat ca și în cazul precedent fără lichid de așchiere, deoarece aceste materiale de sculă nu necesită utilizarea unui lichid de așchiere, fiind caracterizate printr-o bună conductibilitate termică, iar utilizarea unui lichid de așchiere cu un debit și o orientare necorespunzătoare poate conduce la apariția șocurilor termice al căror efect influențează negativ durabilitatea sculelor așchietoare și prin urmare afectează întreg procesul de așchiere. În figura 3.2 este prezentat modelul geometric pentru experimentul factorial complet 3^2 .

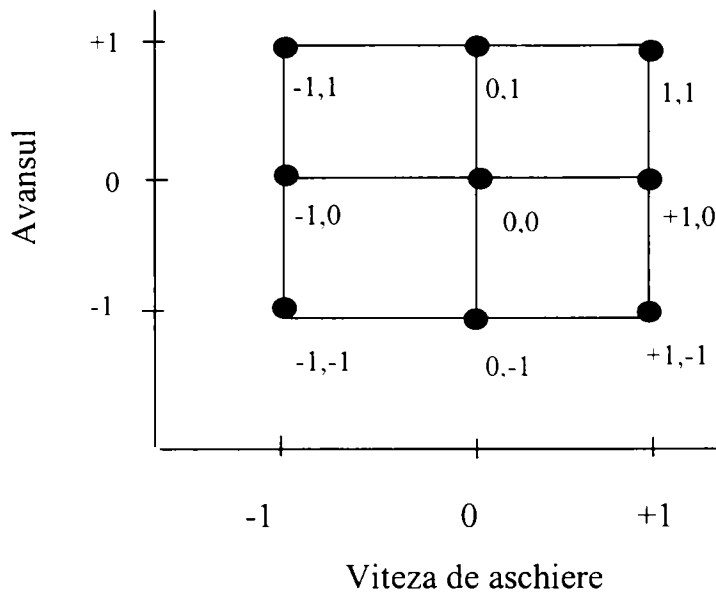


Figura 3.2. Modelul matematic pentru un experiment factorial complet cu două variabile independente și trei nivele de variație

Deoarece în acest caz avem aceleași funcții obiectiv ca și în cazul precedent și anume durabilitatea sculei și rugozitatea suprafeței așchiate, dar numai două variabile independente, modelul matematic va fi de forma:

$$Y = \beta_0 + Ax_1 + Bx_2 + ABx_1x_2 + AAx_1^2 + BBx_2^2; \quad (3.2)$$

Y-durabilitatea sculei T [min],

A-viteza de aschiere Vc [m/min],

B-avansul fn [mm/rot]

β_0 -constant

În acest caz la fel ca și în precedentul programul Statgraphics nu lucrează cu valorile fizice pentru variabilele independente, ci cu valorile codificate. Corespondența între valorile fizice și cele codificate pentru variabilele independente este prezentată în tabelul 3.3.

Tabel 3.3. Corelația dintre valorile fizice și cele codificate pentru experimentul factorial complet 3^2

Parametru	Valoare codificată	Valori fizice	
		X1 \Leftrightarrow Vc [m/min]	X2 \Leftrightarrow fn [mm/rev]
Punct central	0	140	0,14
Interval de variație	Δj	40	0,08
Nivel superior Xi sup	+1	180	0,22
Nivel inferior Xi inf.	-1	100	0,06

Valorile punctului central au fost alese și în acest caz în funcție de recomandările fabricanților de scule așchietoare [145, 151]. În cazul ambelor experimente menționate s-

a optat pentru randomizarea încercărilor în vederea distribuirii aleatoare a eventualelor erori sistematice care ar putea exista.

O altă etapă a constituit-o analiza uzurii și a durabilității sculelor așchietoare utilizate cu regimurile de așchiere deja folosite în cadrul celor două experimente menționate.

Următoarele teste au constat în analiza influenței parametrilor regimului de așchiere asupra preciziei de prelucrare și de asemenea studiul influenței materialului sculei asupra preciziei de prelucrare la strunjirea oțelului 100Cr6. Pentru aceasta s-au utilizat cinci materiale de sculă:

- CC650 – ceramică mixtă,
- CC670 – ceramică mixtă cu fibre de SiC,
- CB7020 – NCBP,
- DBN45 – NCBP,
- DBC50 – NCBP.

Toate plăcuțele așchietoare au prezentat aceeași geometrie și uzură $V_B=0$. Materialul de prelucrat s-a împărțit în 5 tuburi, fiecărui tip de material de sculă revenindu-i un tub din 100Cr6. Folosind schema de lucru din figura 3.3 s-au așchiat opt tronsoane diferite de lungime 10-12 mm cu diferite tregimuri de așchiere, așa cum se vede în figura 3.4.

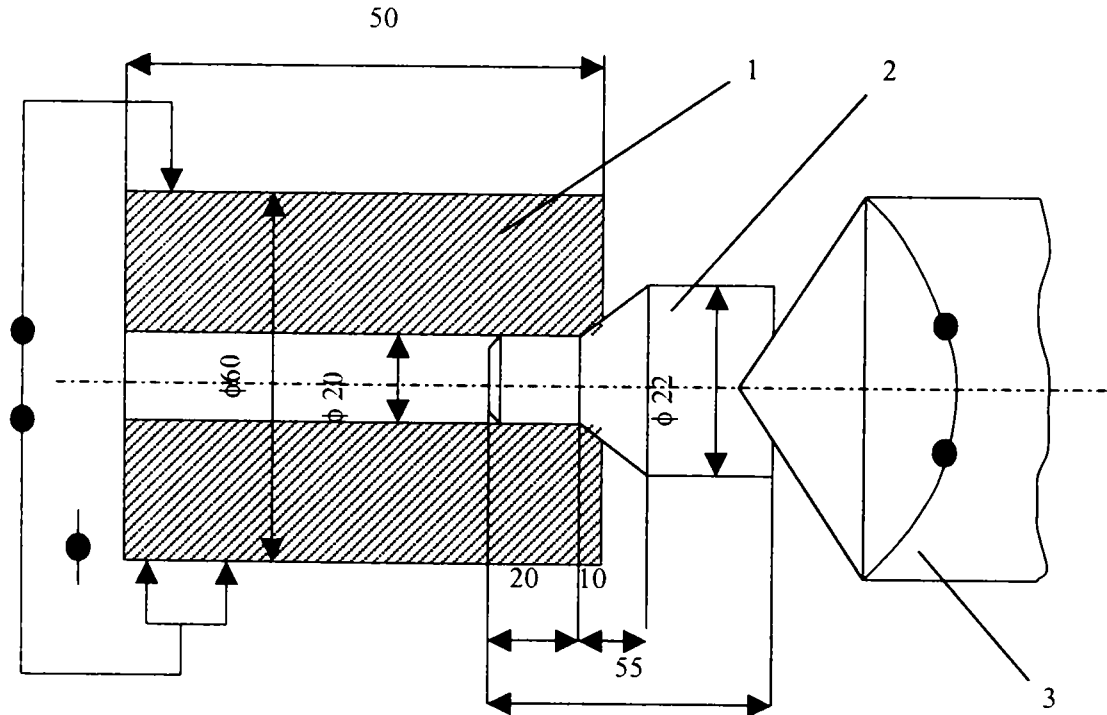


Figura 3.3. Schema de prindere a semifabricatului.

1- semifabricat, 2- dorn de fixare, 3- păpușa mobilă

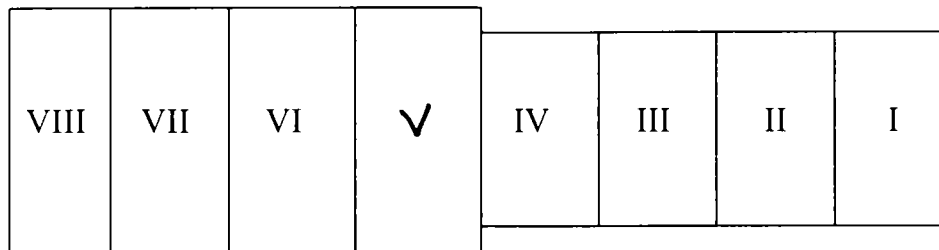


Figura 3.4. Pregătirea semifabricatului pentru experimentele în vederea determinării preciziei de prelucrare

Fiecare tronson corespunde următoarelor regimuri de aşchiere:

- I – R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- II – R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- III – R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- IV – R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- V – R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- VI – R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- VII – R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- VIII– R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm.

Utilizând aceeaşi schemă de lucru a fost analizată şi influenţa parametrilor regimului de aşchiere şi a materialului sculei asupra eventualelor modificări ale stratului superficial.

Un alt studiu a vizat influenţa regimului de aşchiere şi a materialului sculei aşchietoare asupra temperaturii în zona de aşchiere la strunjirea oţelului 100Cr6. Pentru acest set de teste s-au folosit din nou cele cinci materiale de sculă enumerate anterior cu următoarele regimuri de aşchiere:

- R-I: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R-II: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R-III: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm.

După cum se poate vedea adâncimea de aşchiere a fost menţinută constantă şi s-a analizat doar influenţa vitezei de aşchiere şi a avansului asupra temperaturii din zona de aşchiere. nefiind luată în calcul uzura sculei deoarece s-au utilizat doar muchii aşchietoare neuzate pentru fiecare experiment.

3.2. Materialul aşchiat

Materialul folosit în cadrul experimentelor a fost oţelul de rulmenţi 100Cr6 conform DIN 17230 echivalent cu oţelul românesc Rul1 conform STAS 1756-80, cu duritatea 60-62 HRC având compoziţia chimică prezentată în tabelul 3.4. S-a ales oţelul 100Cr6 datorită faptului că este un oţel de rulmenţi folosit pe scară largă în industria constructoare de maşini din lumea întreagă, iar după călire acest oţel atinge o duritate care depăşeşte 60HRC. fiind ideal din acest punct de vedere pentru cercetările efectuate în această teză de doctorat.

Tabelul 3.4. Compoziţia chimică a oţelului 100Cr6

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	Al	Cu	Sn	Ti
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,98	0,36	0,016	0,003	0,27	0,01	1,49	0,02	0,007	0,007	0,002	0,002

Compoziţia chimică a materialului a fost determinată de firma producătoare „Manesmann” utilizând un spectrometru Hilger Polyvac 1000. Materialul de prelucrat a fost livrat sub forma unor tuburi de lungime 250 mm și având diametrul exterior $D=50\text{mm}$, iar diametrul interior $d=20\text{ mm}$. Materialul a fost tratat termic la firma „Traterminas Termico Ltda.” la duritatea 60-62 HRC (vezi certificat calitate Anexa 2).

Materialul a fost supus unui tratament termic de călire+revenire după cum urmează:

- 1^o Preîncălzire la 500°C ,
- 2^o Încălzire la 860°C , menținere în cuptor 1h la 860°C ,
- 3^o Răcire în ulei agitat,
- 4^o Revenire la 180°C . cu menținere 2h la 180°C ,
- 5^o Răcire în aer.
- 6^o Revenire la 200°C . cu menținere 2h la 200°C ,
- 7^o Răcire în aer.

Duritatea materialului a fost verificată pe trei axe la ambele capete ale barei utilizând un durometru Mitutoyo MVK-H1.

3.3. Materiale de sculă utilizate

Pentru primul set de experimente s-au folosit plăcuțe interschimbabile de formă pătrată din ceramică mixtă ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Tic}$) având simbolizarea CC650, produse de firma Sandvik Coromant. Plăcuțele utilizate au prezentat următoarea geometrie:

SNGN 120408T01020 (vezi Anexa 3), iar montate în suportul port-cuțit CSDNR-2525 H12-ID au prezentat următoarea geometrie: $\chi_r = 45^\circ$, $\chi'_r = 45^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = -5^\circ$. În figura 3.5 este prezentat suportul port-cuțit utilizat.

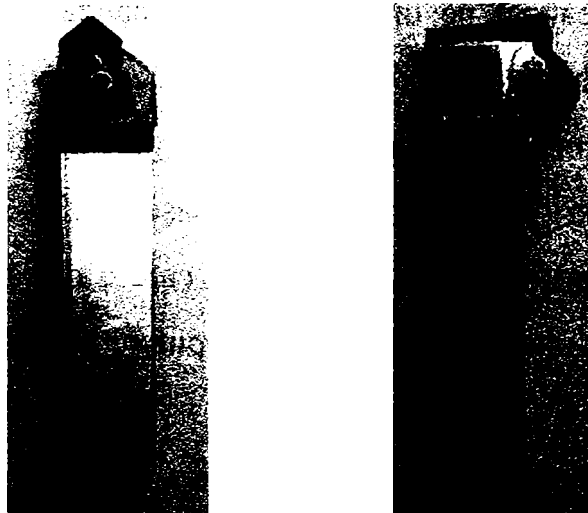


Figura 3.5. Suportul port-cuțit și tipul de plăcuță CC650 utilizate la așchiere oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC la primul experiment

Pentru următoarele experimente s-au utilizat următoarele tipuri de plăcuțe triunghiulare:

- plăcuțe din ceramică cu fibre de SiC, CC670 cu simbolizarea: TNGN 160408 T01020,
- plăcuțe din ceramică mixtă CC650 cu simbolizarea: TNGN 160408 T01020,
- plăcuțe din nitrură cubică de bor policristalină:
 - CB7020 cu simbolizarea TNGA 160408 T01020,
 - DBN45 cu simbolizarea TNGN 160408 T01020,
 - DBC50 cu simbolizarea TNGN 160408 T01020.

Pentru plăcuțele enumerate mai sus s-a folosit un suport CTGNR 2525 M16-ID livrat de firma Sandvik Coromant, prezentat în figura 3.6



Figura 3.6. Suportul port-cuțit CTGNR 2525 M16-ID utilizat pentru cel de-al doilea experiment

Geometria sculei montată în suportul sus-amintit a fost:

$$\chi_r = 60^\circ, \chi'_r = 30^\circ, \lambda = 0^\circ, \alpha = 5^\circ, \gamma = -5^\circ.$$

3.4. Mașini-unelte și echipamente folosite în cadrul experimentelor

Operația de strunjire s-a realizat pe un strung cu comandă numerică TORNO ROMI CENTUR de proveniență braziliană având o putere de 11kw și două game de turații 0-1800 și 1800-3600 rot/min la arborele principal. Strungul are posibilitatea varierii turației în vederea menținerii constante a vitezei de așchiere. S-a optat pentru un strung cu comandă numerică având în vedere precizia pe care o oferă această mașină-unelte, rigiditatea ridicată și nu în ultimul rând rezerva de putere pe care o are. În figura 3.7 este prezentat acest strung.

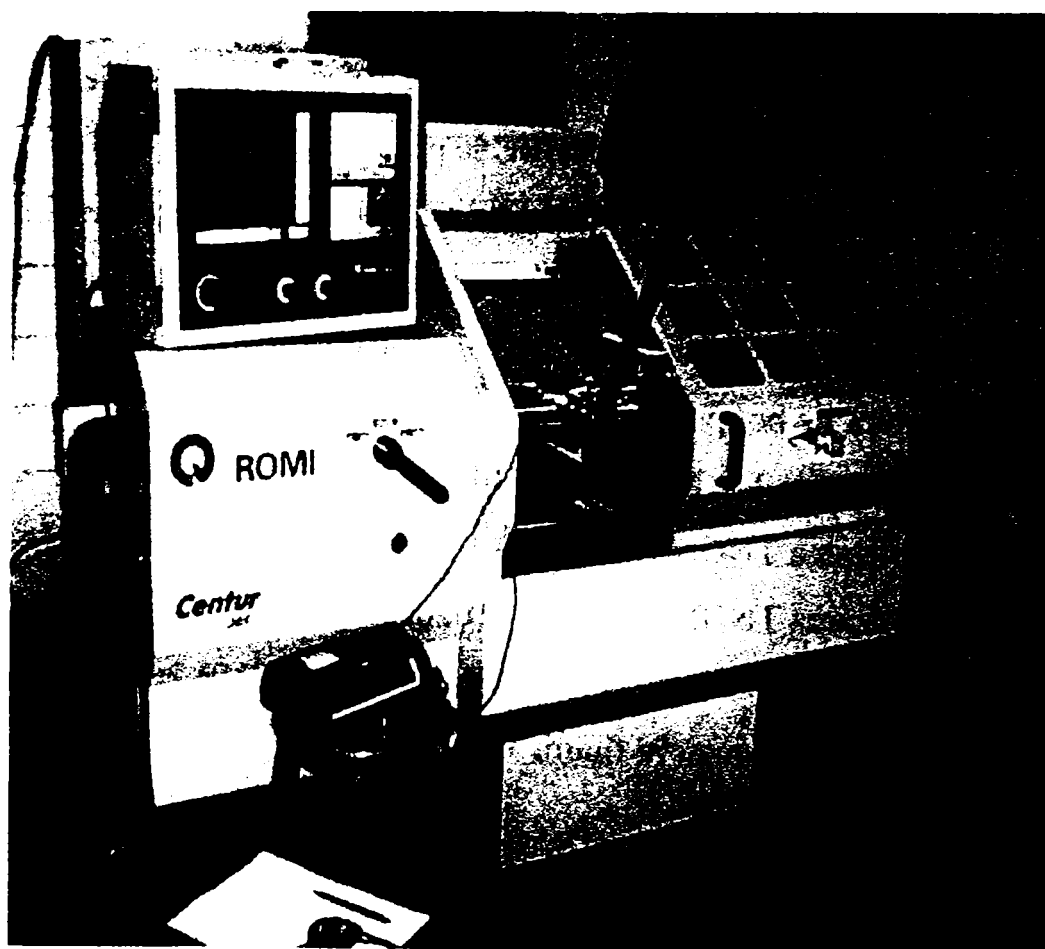


Figura 3.7. Strung cu comandă numerică Torno Romi Centur

Pentru verificarea durității materialului de așchiat s-a utilizat un duometru Mitutoyo MVK-H1 prezentat în figura 3.8, iar pentru măsurarea uzurii sculelor așchietoare a fost utilizat un microscop Mitutoyo TM 500 echipat cu micrometre digitale și care prezintă o rezoluție de 0,001 mm. Acest microscop este prezentat în figura 3.9.

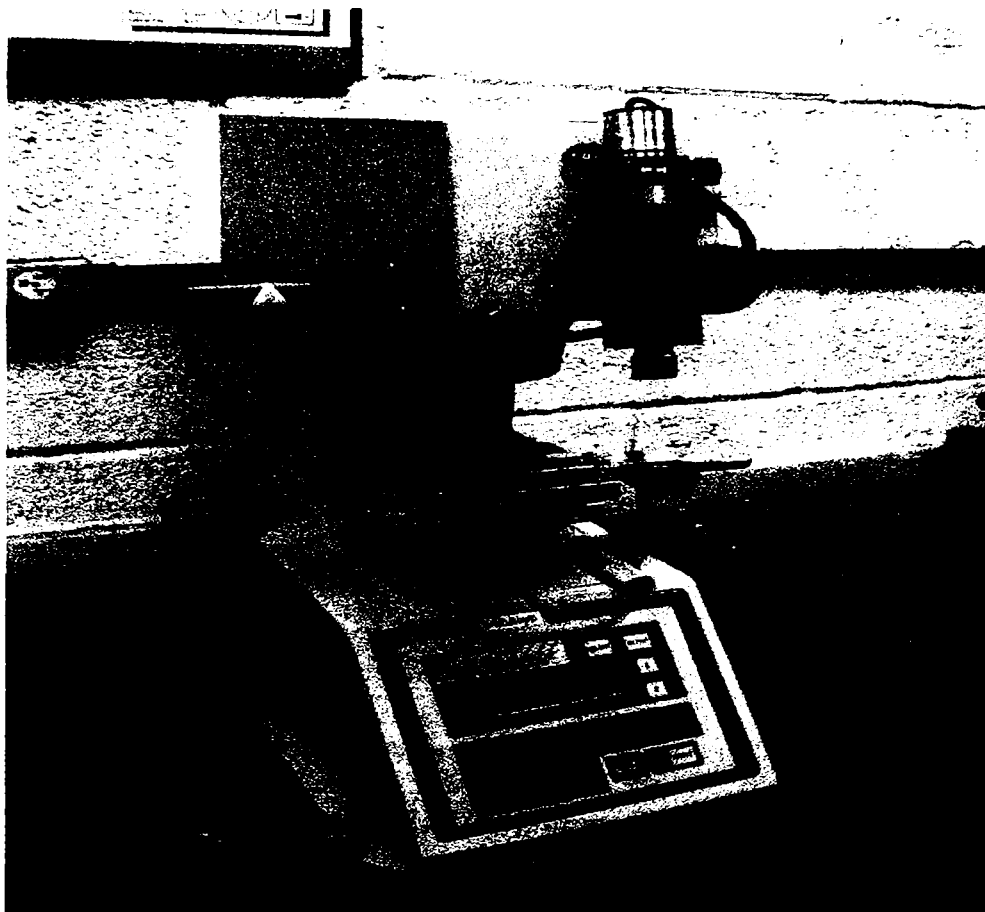


Figura 3.8. Durometru Mitutoyo MVK-H1

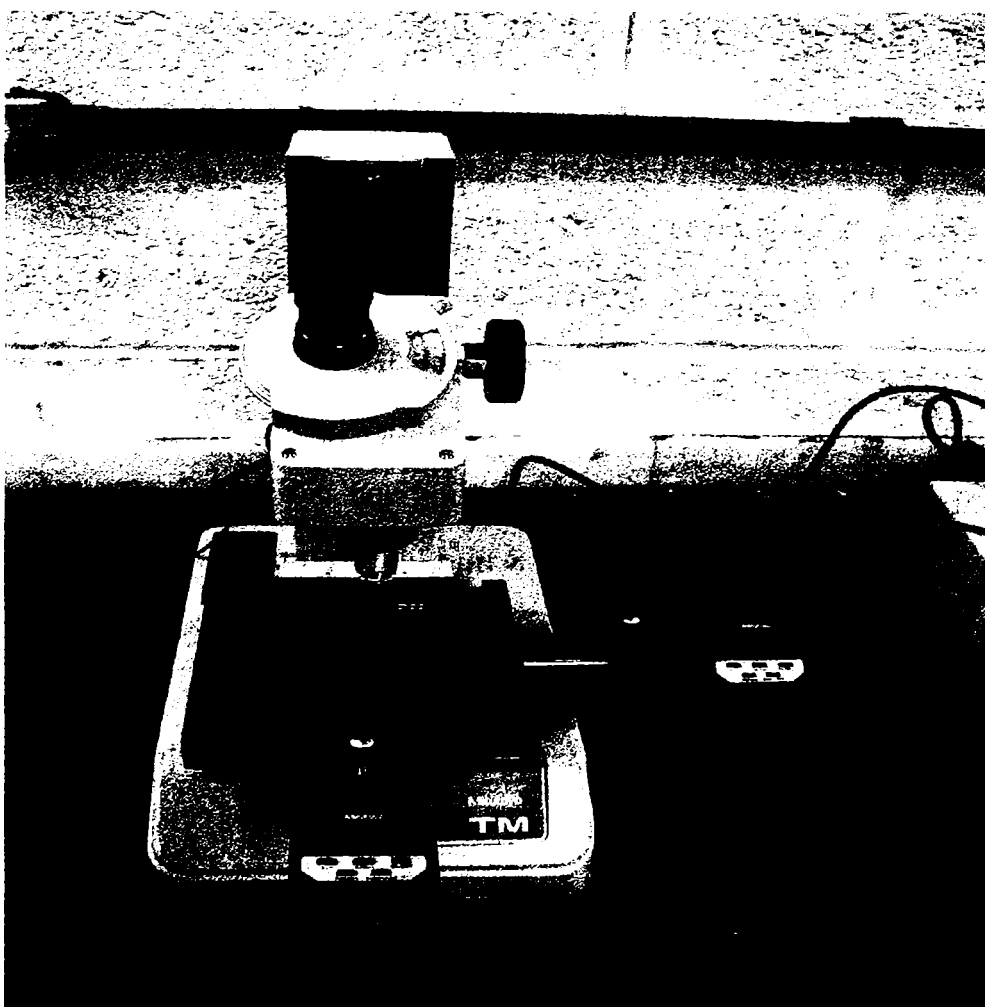


Figura 3.9. Microscopul optic Mitutoyo TM 500

Pentru măsurarea rugozității s-a utilizat rugozimetrul Mitutoyo Surftest 301 având schema din figura următoare:

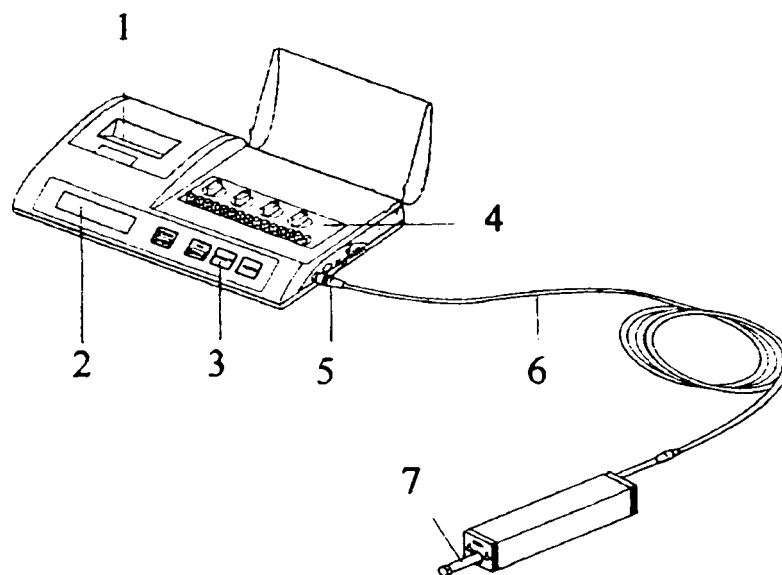


Figura 3.10. Schema rugozimetrului Mitutoyo Surftest 301

1- printer, 2- ecran cu cristale lichide, 3-panou de operare, 4-comutatoare, 5- mufă,
6- cablu, 7-detector.

Rugozimetrul prezentat poate lucra cu mai multe filtre :

- 2CR – filtru analog,
- PC 50% - filtru Gaussian, conform DIN 4777,
- PC 75% - filtru digital de compensare de fază.

Aparatul lucrează cu diferite lungimi de măsurare: $\lambda_c = 0,25; 0,8; 2,5, 8$ mm. În cazul în care se estimează că valoarea rugozității R_a ce urmează a fi măsurată se încadrează în gama $R_a = 0-12,5$ μm se recomandă lungimea de undă $\lambda_c = 0,8$ mm. Pentru măsurarea rugozității s-a mai folosit și un rugozimetru Perthometer S4P V2.2 care măsoară șapte sectoare, lungimea fiecărui sector fiind de 0,8 mm, apoi elimină valorile înregistrate pe primul și ultimul sector și face o medie a celor cinci sectoare rămase. Lungimea totală de măsurare este 5,6 mm împărțită în șapte sectoare.

În vederea vizualizării cu mai multă acuratețe a uzurii plăcuțelor așchietoare s-a utilizat și un microscop electronic JEOL JSM 5200 cu cameră vidată conectat la un calculator P.C. Acest microscop redă imaginea obținută prin scanare și permite vizualizarea probelor cu scări de mărire de până la 10.000 de ori. În figura 3.11 este prezentat acest microscop.

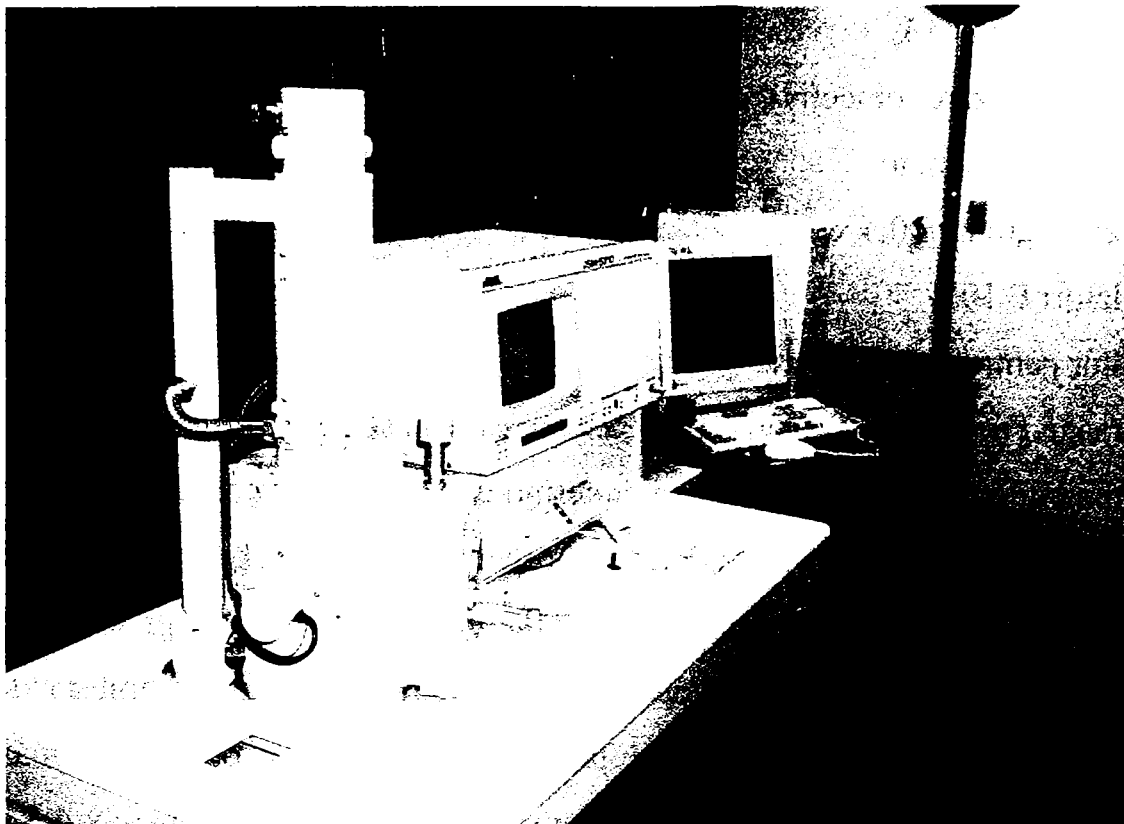


Figura 3.11. Microscop electronic JEOL JSM 5200

La experimentele la care s-a urmărit studierea fenomenelor termice în zona de aşchiere s-a utilizat o termo-cameră cu infraroşii Cyclops Ti 35+ prezentată în figura următoare.

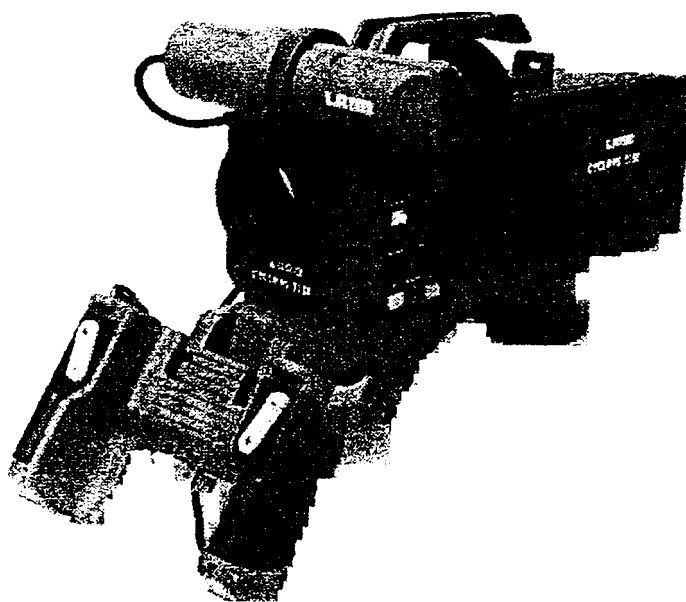


Figura 3.12. Termo-camera cu infraroşii Cyclops Ti 35+

Acest tip de termo-cameră poate fi folosită la crearea imaginilor termice și măsurarea temperaturii într-o gamă largă de aplicații. Termo-camera Cyclops Ti 35+ se compune din următoarele:

- unitate scanner E115,
- dispozitiv de vizare (obiectiv),
- lentile 2,5 x Telephoto,
- lentile cu unghi larg 0,4 x,
- acumulatori E 105,
- încărcător pentru acumulatori.
- Land Image Processing System – L.I.P.S. care este un software utilizat pentru

vizualizarea imaginilor în infraroșu obținute cu termo-camera, care lucrează sub windows și este un produs al firmei Microsoft. Unitatea de scanner este componenta principală a sistemului, care scanează ținta, detectează radiația în infraroșu emisă și convertește această radiație într-o imagine bi-dimensională, care poate fi afișată pe un monitor extern. Lentilele 2,5 x Telephoto pot fi atașate în fața camerei pentru a observa și măsura temperatura obiectelor aflate la o distanță mai mare iar lentilele cu unghi mare x 4,5 sunt folosite atunci când se observă sau se măsoară obiecte mari aflate la distanțe sub 1 m.

În figura 3.13 este prezentat montajul cu termo-camera pentru măsurarea temperaturii în zona de așchiere.

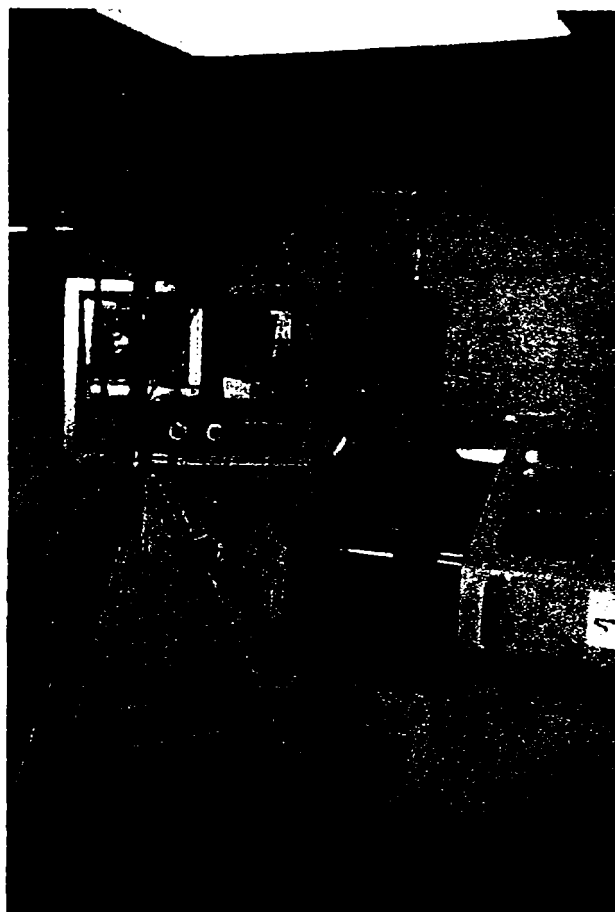


Figura 3.13. Montaj pentru măsurarea temperaturii în zona de așchiere la strunjirea oțelului 100Cr6 pe un strung cu comandă numerică Torno Romi Centur

Gama de temperaturi ce pot fi măsurate cu această termo-cameră este de la -20°C la 1500°C , bazat pe temperatura corpului negru în trei game diferite:

- gama „L” $0^{\circ} - 120^{\circ}\text{C}$,
- gama „M” $100^{\circ} - 350^{\circ}\text{C}$,
- gama „H” $300^{\circ} - 1500^{\circ}\text{C}$.

Acuratețea măsurării temperaturii pentru fiecare gamă este:

- gama „L” $\pm 1,25\%$ (temperatura absolută),
- gama „M” $\pm 1,5\%$ (temperatura absolută),
- gama „H” $\pm 3,5\%$ (temperatura absolută).

Emisivitatea termo-camerei poate fi setată de la 0,1 la 1 în intervale de 0,01. Termo-camera prezintă mai multe posibilități de înregistrare a temperaturii : instantanee, medie, maxime, izoterme, are o memorie de stocare până la 61 de imagini și o facilitate de a înregistra automat imagini permițând înregistrarea a cca. 12 imagini/secundă. Termo-camera mai prezintă nivelele de afișare a temperaturii într-o gamă de 64 de culori și are de asemenea o interfață digitală cu un program C-LIPS care permite transferul atât al imaginilor cât și al informațiilor de la termo-cameră la soft-ul instalat pe computer. Conexiunea dintre termo-cameră și calculator se face prin intermediul unei interfațe paralele sau seriale ca în figura următoare.

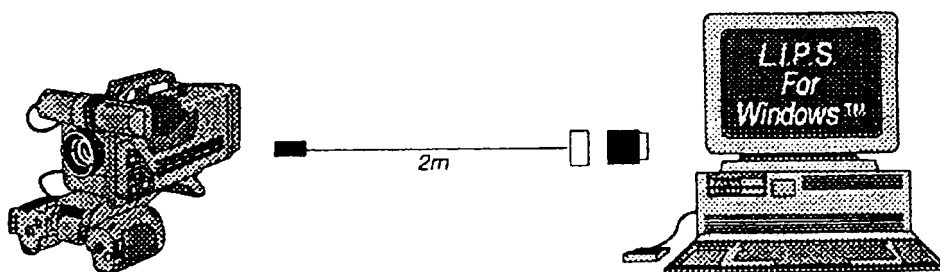


Figura 3.14. Conexiunea termo-camerei Cyclops Ti 35+ cu computerul

Pentru măsurarea abaterilor de la forma geometrică a pieselor s-a utilizat un sistem Talyrond-Hobson Pneumo, un calculator Pentium, imprimantă și un program specializat de achiziționare de date. Sistemul Talyrond menționat anterior poate realiza măsurarea în două moduri extern și intern, acesta din urmă pentru analiza suprafețelor interioare ale pieselor tip bucușă. Sistemul are un palpator de rubin, iar eroarea de măsurare este în limitele $\pm 0,05 \mu\text{m}$. Acest sistem permite măsurarea suprafețelor pe circumferință colectând date din 2000 de puncte. Aparatul lucrează într-o încăpere cu mediu controlat în sensul că temperatura este constantă 20°C , iar umiditatea este în limitele 60-70%.

3.5. Concluzii

În urma celor prezentate se poate aprecia că pentru realizarea experimentelor propuse s-au utilizat condiții de aşchiere, semifabricate, scule aşchietoare și dispozitive recomandate în literatura de specialitate pentru acest tip de prelucrare care este „strunjirea dură”. Sculele aşchietoare au fost alese în conformitate cu recomandările producătorilor de astfel de scule ținându-se seama și de regimurile de aşchiere ce urmau a fi utilizate.

Pentru o cercetare mai aprofundată a fenomenelor legate de durabilitatea sculelor și a rugozității suprafeței aşchiate s-a recurs la programe de experimentare bazate pe statistica matematică care permit modelarea matematică a fenomenelor studiate.

În ceea ce privește materialul de prelucrat, s-a ales un oțel de rulmenți, 100Cr6, călit la duritatea 60-62 HRC, care în practica industrială tinde să fie prelucrat într-o proporție din ce în ce mai mare prin strunjirea dură.

4. REZULTATELE EXPERIMENTALE CU PRIVIRE LA STRUNJIREA OȚELULUI 100Cr6 CU DURITATEA 60-62 HRC

4.1. Cercetări privind influența parametrilor regimului de așchiere asupra durabilității sculei și a rugozității suprafeței așchiate din 100Cr6 cu scule din materiale ceramice-CC650

Așa cum s-a menționat în capitolul 3, paragraful 3.1, s-a optat pentru un experiment factorial central compus 2^3+ stea ce presupune 16 încercări care au prezentate în matricea program din tabelul 3.2. A fost considerat ca și criteriul limită de uzură, uzura pe fața de așezare a sculei $V_B=0,2$ mm. Analiza dispersională aplicată experimentului 2^3 -stea cu 16 încercări, din care două în punctul central pentru funcția obiectiv Durabilitate a fost obținută cu ajutorul programului STATGRAPHICS și este prezentată în tabelul 4.1.

Tabel 4.1. Analiza dispersională pentru experimentul 2^3+ stea considerând ca funcție obiectiv Durabilitatea, iar ca variabile independente, parametrii regimului de așchiere.

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza	5008,40070	1	5008,4007	53,98	,0003
B:Avansul	4613,76258	1	4613,7626	49,73	,0004
C:Adancimea	2053,08663	1	2053,0866	22,13	,0033
AB	638,42364	1	638,4236	6,88	,0394
AC	127,63226	1	127,6323	1,38	,2853
BC	565,38756	1	565,3876	6,09	,0486
AA	221,63156	1	221,6316	2,39	,1732
BB	729,23314	1	729,2331	7,86	,0310
CC	336,02020	1	336,0202	3,62	,1057
Eroare totală	556,71288	6	92,7855		

Dispersie totală 14354.3789 15

$R^2 = 0,961217$ R^2 (ajustat pt. nr. grade libertate) = 0,903041

Calculul dispersiilor s-a făcut cu ajutorul programului STATGRAPHICS pe baza relațiilor (2.12-2.16)

Deoarece valoarea critică a criteriului F pentru pragul de semnificație $\alpha=0,05$ și numărul de grade de libertate $v_1=1$ și $v_2=6$ este $F_{0,05;1;6}=5,99$ (vezi Anexa 1), rezultă ne semnificative cu o siguranță a afirmației de 95% influențele interacțiunii AC și a termenilor pătratici AA și CC. Adică interacțiunile produse de termenii x_1x_3 , x_1^2 și x_3^2 din relația 3.1 (Capitolul 3) sunt ne semnificative lucru confirmat și de histograma efectelor standard prezentată în figura 4.1.

Valoarea coeficientului R^2 exprimă faptul că 90,3% din împrăștierea rezultatelor funcției obiectiv poate fi explicată cu ajutorul modelului matematic polinomial ales. Cu alte cuvinte precizia de estimare a modelului matematic este de 90,3%. Tot cu ajutorul programului STATGRAPHICS pe baza relațiilor (2.5-2.11) au fost calculați coeficienții de regresie și efectele acestora asupra funcției obiectiv.

Tabel 4.2. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Durabilitate

Coeficient	Valoare
Constant	10,9152
A:Viteza	-19,1502
B:Avansul	-18,3803
C:Adancimea	-12,2611
AB	8,93325
AC	3,99425
BC	8,40675
AA	4,89118
BB	8,87219
CC	6,02255

Deci modelul matematic pentru funcția Durabilitate va fi:

$$Y=10,915-19,15X_1-18,380X_2- 12,261X_3+8,933X_1X_2+3,994X_1X_3+8,406X_2X_3+4,891X_1^2+8,872X_2^2+6,022X_3^2. \quad (4.1)$$

Am stabilit că influența coeficienților termenilor X_1X_3 , X_1^2 și X_3^2 este ne semnificativă, prin urmare modelul matematic pentru funcția Durabilitate va avea următoarea formă:

$$Y=10,915-19,15X_1-18,380X_2- 12,261X_3+8,933X_1X_2+8,406X_2X_3+8,872X_2^2. \quad (4.2)$$

Semnul “-” aflat în fața coeficienților de regresie aferenți variabilelor independente : viteza de aşchiere (A), avans de aşchiere (B) și adâncime de aşchiere (C) din tabelul 4.2 arată că influența variabilelor independente mai sus menționate tinde să diminueze valoarea funcției obiectiv Y –Durabilitate.

În tabelul 4.3 sunt prezentate valorile numerice ale efectelor variabilelor independente (parametrii regimului de aşchiere) asupra durabilității sculei.

Tabel 4.3. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Durabilitate

Variabila independentă	Valoare efect	Abaterea standard
Constant	10,9152	+/- 6,79126
A: Viteza de aşchiere	-38,3005	+/- 5,21308
B: Avansul de aşchiere	-36,7606	+/- 5,21308
C: Adâncimea de aşchiere	-24,5221	+/- 5,21308
AB	17,8665	+/- 6,81122
AC	7,9885	+/- 6,81122
BC	16,8135	+/- 6,81122
AA	9,78235	+/- 6,32947
BB	17,7444	+/- 6,32947
CC	12,0451	+/- 6,32947

Figura 4.1 reprezintă grafic influența variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Durabilitate.

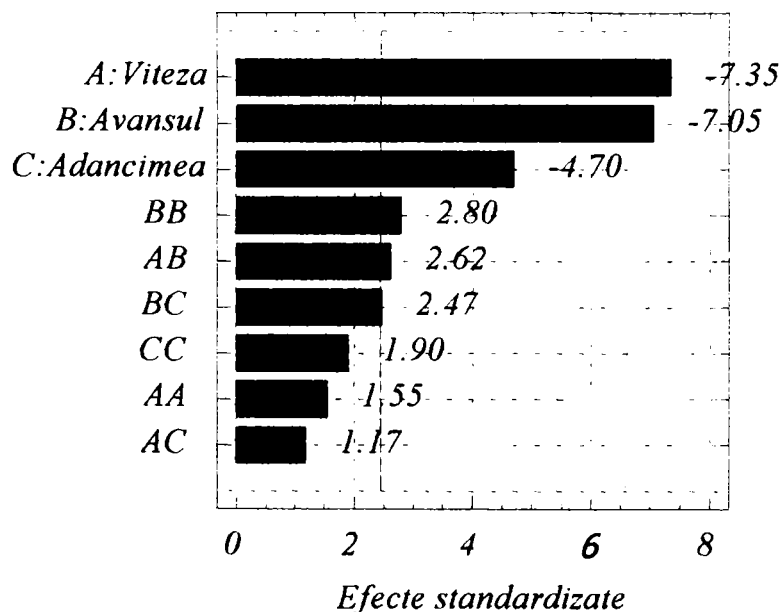


Figura 4.1. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției Durabilitate
 După cum se poate observa în figura 4.1 factorul care afectează în cea mai mare măsură durabilitatea sculei îl constituie viteza de aşchiere, urmată în ordine de avans și adâncimea de aşchiere. În figurile 4.2, 4.3 și 4.4 sunt prezentate suprafețele de răspuns pentru funcția obiectiv-Durabilitate în funcție de perechile de variabile independente viteza/avans, viteză/adâncime și respectiv avans/adâncime.

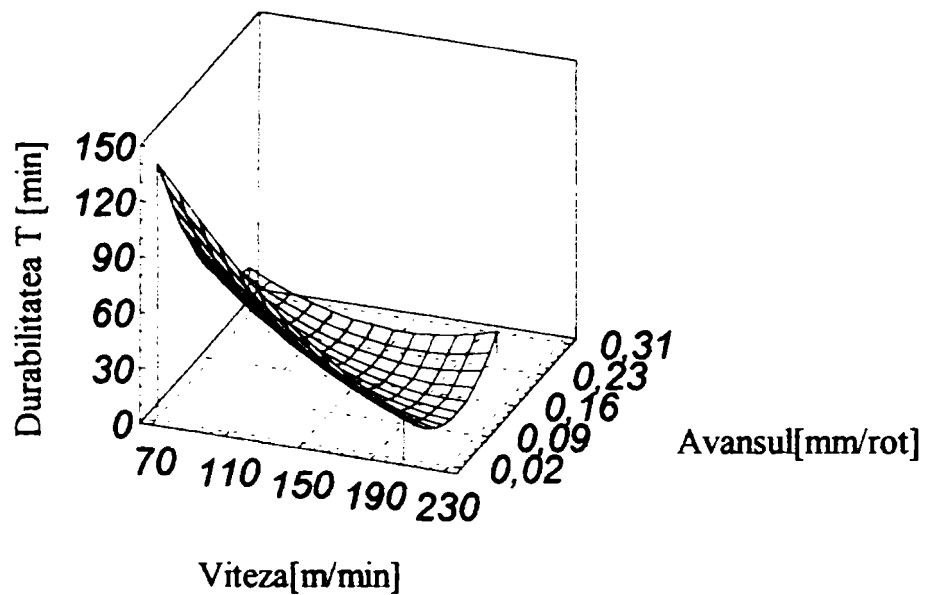


Figura 4.2. Influența vitezei și avansului de așchiere asupra durabilității sculei CC650 la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

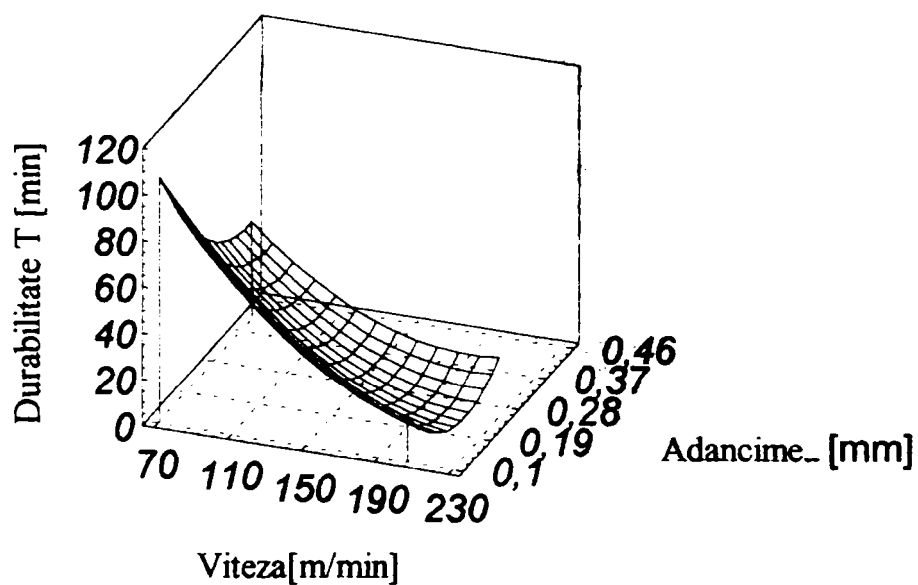


Figura 4.3. Influența vitezei și adâncimii de așchiere asupra durabilității sculei CC650 la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

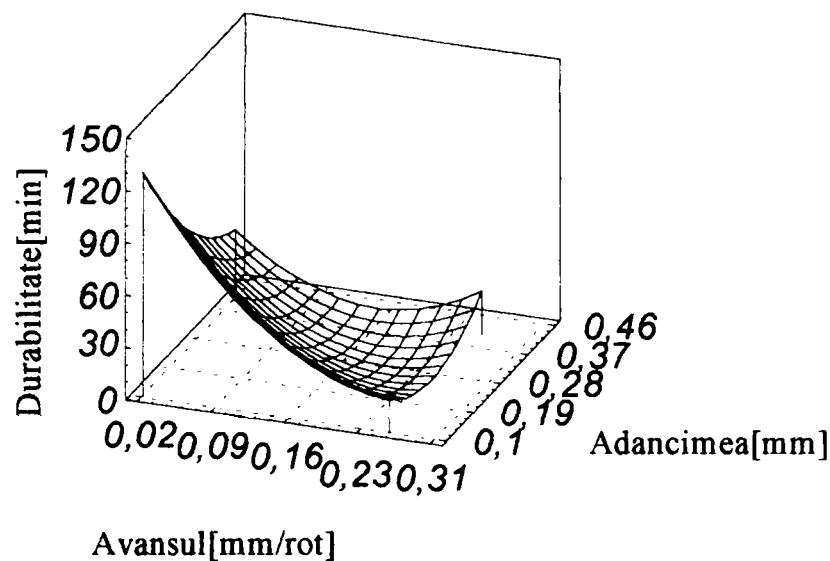


Figura 4.4. Influența avansului și adâncimii de așchiere asupra durabilității sculei CC650 la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

Din figura 4.2 se poate observa că influența vitezei de așchiere asupra durabilității sculei este mai mare decât influența avansului și se observă că odată cu creșterea vitezei de așchiere are loc scăderea durabilității sculei, lucru ce era previzibil. Analizând figura 4.3 se vede că valoarea maximă a durabilității se obține pentru valori mici ale vitezei de așchiere, în jurul valorii de 70 m/min și pentru valori ale adâncimii de așchiere situate în jurul valorii de 0,1-0,19 mm. În acest caz se observă că influența vitezei de așchiere asupra durabilității sculei este mai mare decât influența adâncimii de așchiere. Din figura 4.4 reiese clar că influența avansului de așchiere asupra funcției obiectiv-Durabilitate, este mai mare decât influența adâncimii de așchiere. Pentru a analiza mai bine alura curbelor se fac niște secțiuni în plane paralele cu planul factorilor de influență, obținându-se astfel *curbele de nivel constant*.

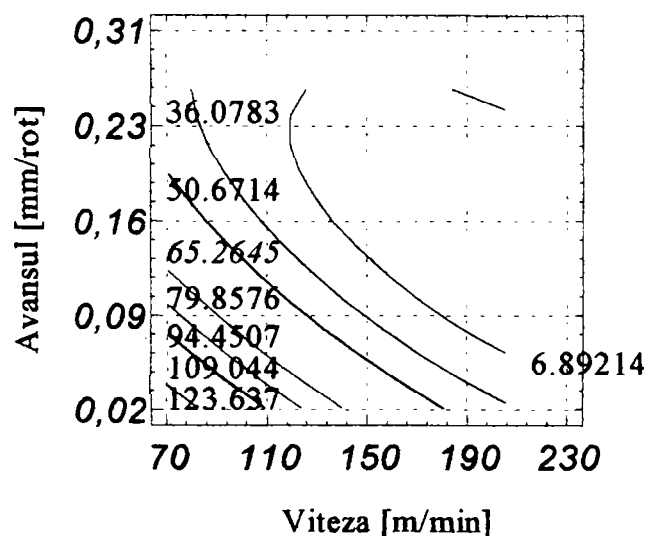


Figura 4.5. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Durabilitate în funcție de viteza și avansul de așchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

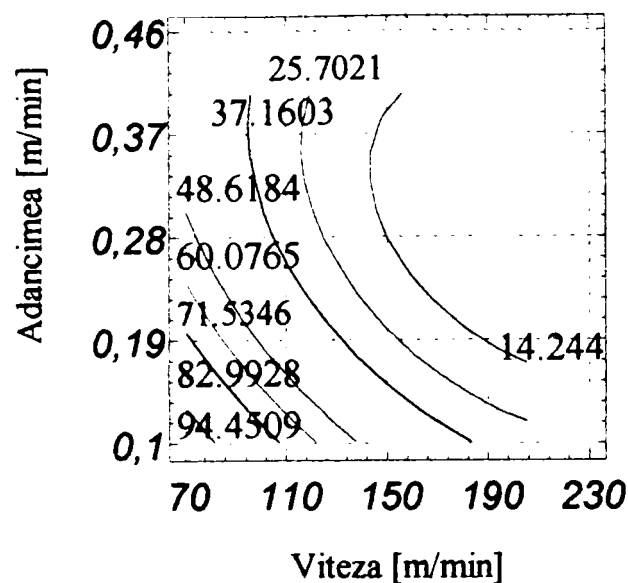


Figura 4.6. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Durabilitate în funcție de viteza și adâncimea de așchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

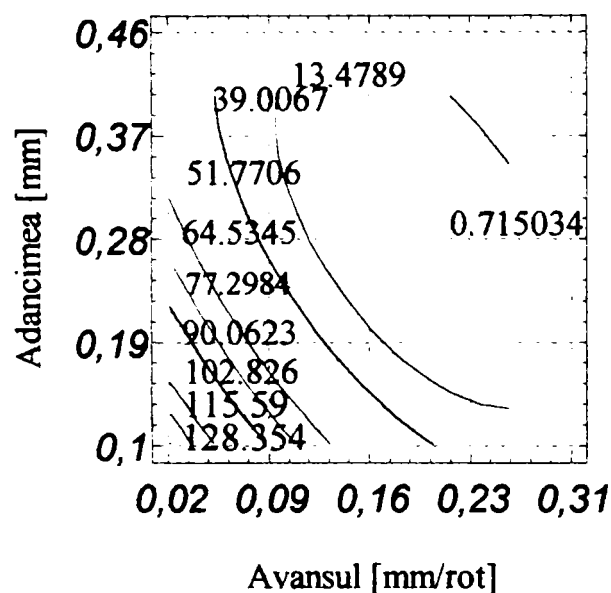


Figura 4.7. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Durabilitate în funcție de avansul și adâncimea de așchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

Din aceste figuri se poate determina mai ușor pentru ce valori ale variabilelor independente se poate obține un maxim pentru funcția-Durabilitate. Astfel pentru perechea viteză/avans de așchiere, durabilitatea maximă T_{max} este în jurul valorii $T=123$ min, pentru o viteză $V_c=70$ m/min și un avans $f_n=0,02-0,04$ mm/rot, așa cum reiese din figura 4.5. Pentru perechea viteză /adâncime de așchiere, valoarea maximă pentru durabilitate este $T \cong 94,45$ min se obține pentru $V_c=70$ m/min și $a_p=0,1-0,14$ mm, iar pentru perechea avans/adâncime de așchiere durabilitatea maximă $T \cong 128,35$ min se obține pentru $f_n=0,02$ mm/rot și $a_p=0,1$ mm. Cu alte cuvinte valorile maxime ale funcției

obiectiv se obțin pentru valorile minime ale variabilelor independente. Se poate aprecia că optimul pentru funcția obiectiv-Durabilitate se atinge pentru următoarele valori ale parametrilor regimului de așchiere:

$$V_c=70 \text{ m/min}, f_n=0,02-0,04 \text{ mm/rot}, a_p=0,1-0,14 \text{ mm}$$

În concluzie pentru obținerea unei durabilități optime $T=95-128$ min este necesar să se utilizeze parametrii prezentați anterior pentru regimul de așchiere. Faptul că precizia de estimare a modelului matematic adoptat este de peste 90% așa cum am arătat în tabelul 4.1 cu analiza regresională, este confirmat și de figura 4.8 unde se observă buna concordanță între valorile estimate cu ajutorul modelului matematic adoptat și valorile observate în urma experimentului efectuat.

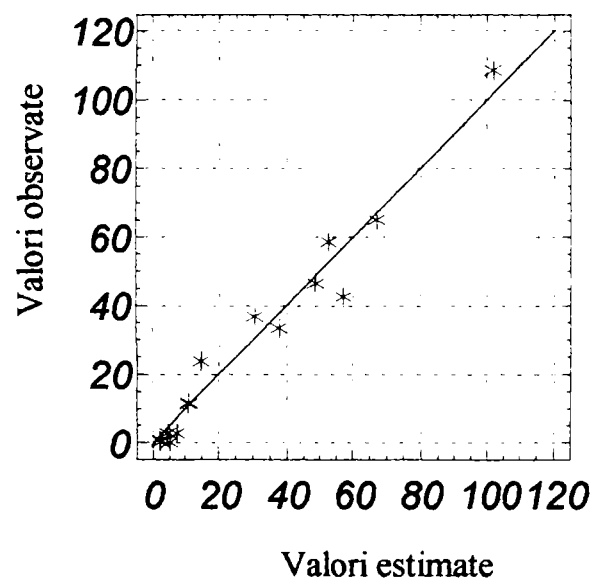


Figura 4.8. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-Durabilitate

Modelul matematic asociat experimentelor factoriale concentrează sintetic rezultatele măsurătorilor transferând informația conținută în valorile măsurate în relația polinomială de regresie. Apare totuși posibilitatea ca modelul matematic să nu cuprindă toate datele cu privire la rezultatele încercărilor, iar restul de date să fie conținute în reziduurile funcției obiectiv. Reziduurile reprezintă diferența dintre valoarea funcției obiectiv estimată cu ajutorul modelului matematic și valoarea măsurată în același punct a funcției obiectiv [89, 40]. În figura 4.9 este prezentată probabilitatea normală a reziduurilor care de asemenea vine să confirme justetea modelului matematic ales.

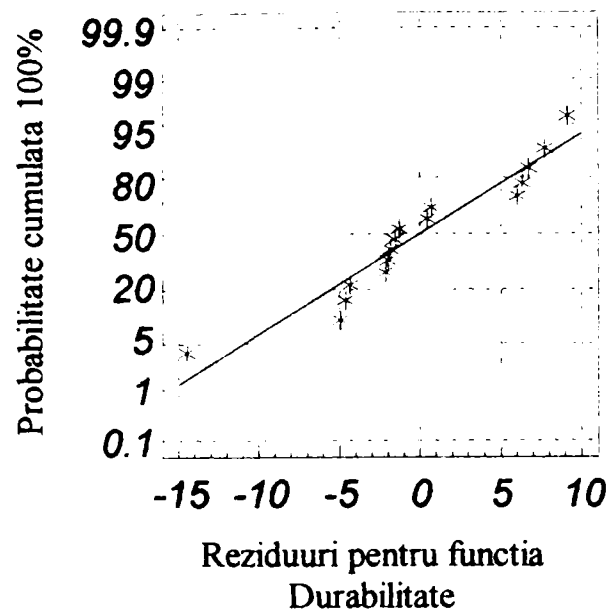


Figura 4.9. Probabilitatea normală a reziduurilor pentru funcția obiectiv-Durabilitate

În figura 4.10 este prezentată variația reziduurilor funcției obiectiv-Durabilitate în funcție de ordinea efectuării încercărilor și se poate observa distribuția aleatoare a acestora, fiind astfel evitată o eventuală eroare sistematică.

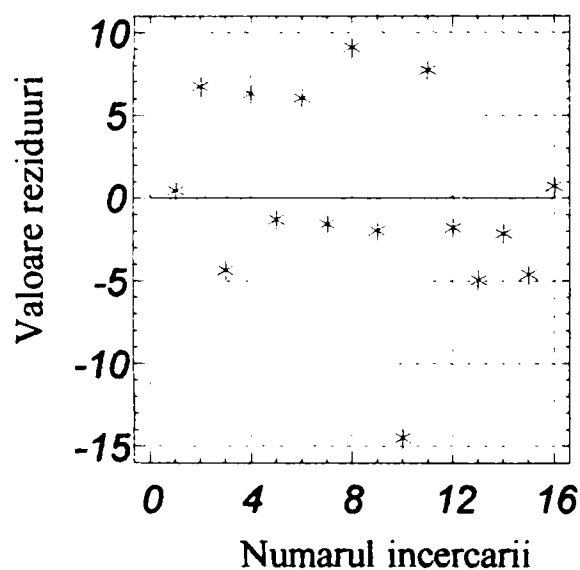


Figura 4.10. Distribuția reziduurilor pentru funcția obiectiv-Durabilitate în funcție de numărul experimentului

În ceea ce privește rugozitatea suprafeței așchiate, în tabelul 4.4 este prezentată analiza dispersională, conform matricei program pentru un experiment factorial central compus 2^3 -stea cu 16 încercări prezentată în capitolul 3, tabelul 3.2.

Tabel 4.4. Analiza dispersională pentru experimentul 2³+stea considerând ca funcție obiectiv Durabilitatea, iar ca variabile independente, parametrii regimului de aşchiere

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza	,72194737	1	,7219474	14,29	,0092
B:Avansul	2,69180846	1	2,6918085	53,29	,0003
C:Adancimea	,35850987	1	,3585099	7,10	,0373
AB	,02645000	1	,0264500	,52	,5039
AC	,56180000	1	,5618000	11,12	,0157
BC	,15680000	1	,1568000	3,10	,1286
AA	,21958245	1	,2195824	4,35	,0822
BB	1,64111690	1	1,6411169	32,49	,0013
CC	,43863655	1	,4386365	8,68	,0257
Eroare totală	,30306195	6	,0505103		
Dispersie totală 6,49517500		15			

$$R^2 = 0,95334$$

$$R^2 \text{ (ajustat pt.nr. grade libertate.)} = 0,883351$$

Calculul dispersiilor s-a realizat cu ajutorul programului STATGRAPHICS pe baza relațiilor (2.12-2.16).

Valoarea critică a criteriului F pentru pragul de semnificație $\alpha=0,05$ și numărul de grade de libertate $v_1=1$ și $v_2=6$ este $F_{0,05;1;6}=5,99$ (vezi Anexa 1), rezultă ne semnificative cu o siguranță a afirmației de 95% influențele interacțiunii AB, BC și a termenului pătratic AA. Acest lucru înseamnă că interacțiunile produse de termenii x_1x_2 , x_2x_3 și x_1^2 din relația 3.1 (Capitolul 3) sunt ne semnificative lucru confirmat și de histograma efectelor standard prezentată în figura 4.11.

Coeficientul R^2 ajustat pentru numărul gradelor de libertate calculat cu ajutorul programului STATGRAPHICS este $R^2 = 0,883351$ demonstrând în acest fel că acuratețea modelului matematic este de 88,33%. Coeficienții de regresie calculați de asemenea cu programul STATGRAPHICS pe baza relațiilor (2.5-2.11) sunt prezentați în tabelul 4.5

Tabel 4.5. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Rugozitate

Coeficient	Valoare
Constant	0,40736
A:Viteza	0,22992
B:Avansul	0,443963
C:Adancimea	-0,162022
AB	0,0575
AC	-0,265
BC	0,14
AA	0,153956
BB	0,420889
CC	0,217596

Cunoscând coeficienții de regresie putem scrie modelul matematic care va avea forma:

$$Y=0,407+0,229X_1+0,443X_2-0,162X_3+0,057X_1X_2-0,265X_1X_3+0,14X_2X_3+0,15X_1^2-0,420X_2^2+0,217X_3^2. \quad (4.3)$$

Din tabelul 4.4 a reieșit că influența interacțiunilor x_1x_2 , x_2x_3 și x_1^2 este nesemnificativă deci relația 4.3 devine:

$$Y=0,407+0,229X_1+0,443X_2-0,162X_3-0,265X_1X_3+0,420X_2^2+0,217X_3^2 \quad (4.4)$$

În tabelul 4.6 sunt prezentate valorile efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Rugozitate.

Tabel 4.6. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Rugozitate

Variabila independentă	Valoare efect	Abaterea standard
Constant	0,40736	+/- 0,158453
A: Viteza de aşchiere	0,459841	+/- 0,121631
B: Avansul de aşchiere	0,887926	+/- 0,121631
C: Adâncimea de aşchiere	-0,324045	+/- 0,121631
AB	0,115	+/- 0,158919
AC	-0,53	+/- 0,158919
BC	0,28	+/- 0,158919
AA	0,307912	+/- 0,147679
BB	0,841777	+/- 0,147679
CC	0,435191	+/- 0,147679

După cum se poate observa din tabelele 4.5 și 4.6 valoarea unui efect este egală cu dublul coeficientului de regresie corespunzător, excepție făcând efectul mediu global, care este egal cu termenul liber. Amplitudinea efectelor produse de factorii de influență asupra funcției obiectiv-Rugozitate poate fi apreciată analizând histograma efectelor sau cum mai este numită în literatura de specialitate „graficul Pareto”.

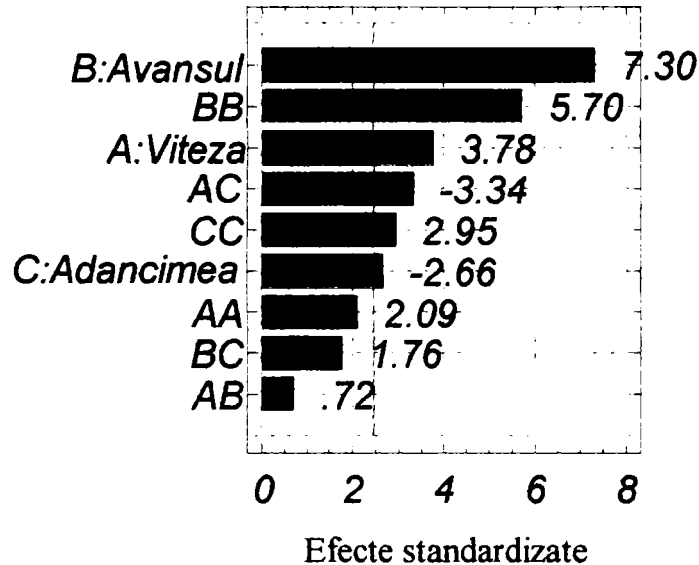


Figura 4.11. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției-Rugozitate
 Din figura 4.11 se observă așa cum era de așteptat că factorul care are cea mai mare influență asupra funcției obiectiv-Rugozitate, este avansul de așchiere și că adâncimea de așchiere are o influență redusă asupra rugozității suprafeței așchiate. În figurile 4.12, 4.13 și 4.14 sunt prezentate suprafețele de răspuns pentru funcția RUGOZITATE în funcție de perechile de variabile independente: viteză/avans de așchiere, viteză/adâncime de așchiere și respectiv avans/adâncime de așchiere.

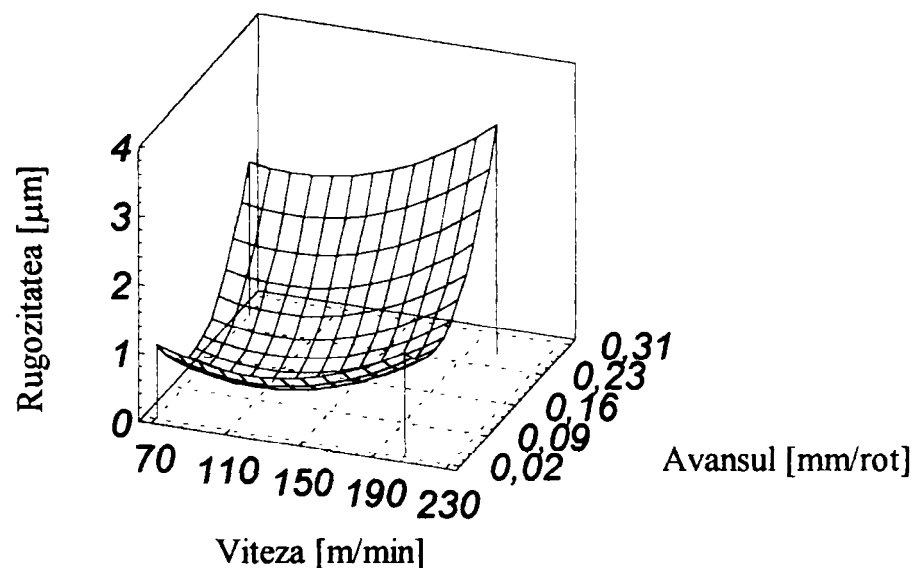


Figura 4.12. Influența vitezei și avansului de așchiere asupra rugozității suprafeței așchiate la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

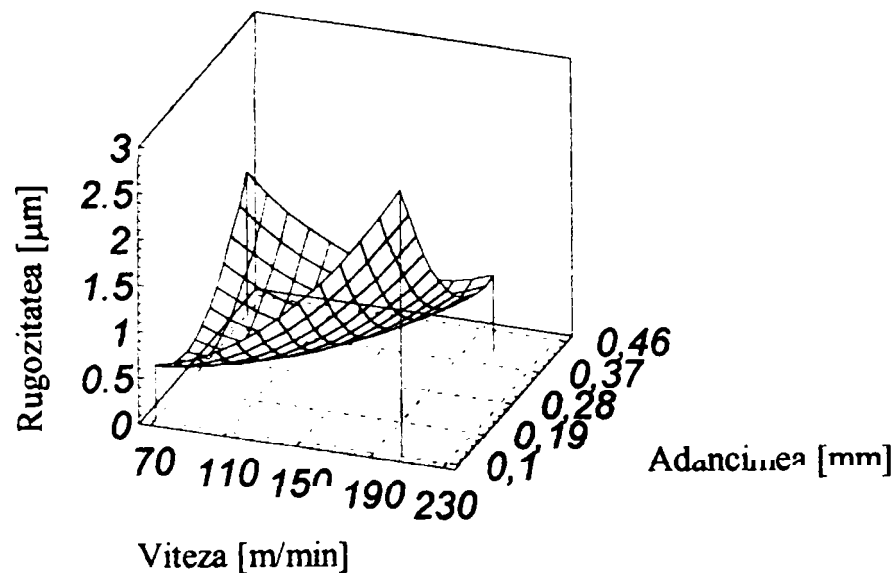


Figura 4.13. Influența vitezei și adâncimii de așchiere asupra rugozității suprafeței așchiate la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

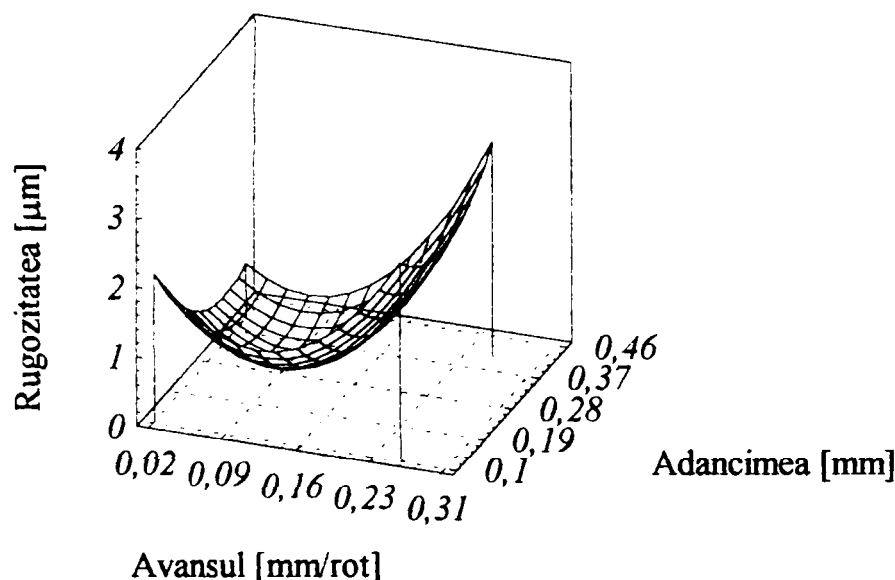


Figura 4.14. Influența avansului și adâncimii de așchiere asupra rugozității suprafeței așchiate la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

Din figura 4.12 se poate vedea că influența avansului asupra rugozității suprafeței este mult mai mare decât influența vitezei de așchiere, lucru confirmat și de histograma efectelor prezentată în figura 4.11. Se vede că suprafața de răspuns prezintă o zonă de extrem pentru valori ale avansului cuprinse în gama 0,02-0,09 mm/rot și pentru valori ale vitezei de așchiere în jurul valorii de 110 m/min.

În figura 4.13 suprafața de răspuns are o formă complexă în care se observă influența vitezei și adâncimii de așchiere asupra rugozității suprafeței. Analizând această figură se vede că odată cu creșterea vitezei de așchiere de la 70 m/min la 210 m/min are loc o creștere a rugozității, iar la viteze mici de așchiere, cca. 70 m/min creșterea adâncimii de așchiere duce la creșterea rugozității suprafeței pe când la viteze de așchiere

in jur de 210 m/min creșterea adâncimii de așchiere poate conduce chiar la o îmbunătățire a rugozității.

În figura 4.14 se vede că influența avansului de așchiere depășește cu mult influența adâncimii de așchiere asupra rugozității suprafeței, iar suprafața de răspuns prezintă o zonă de extrem local. În figurile 4.15, 4.16, 4.17 sunt prezentate curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Rugozitate obținute prin secționarea suprafeței de răspuns cu plane paralele cu planul factorilor de influență și care permit analizarea cu mai multă acuratețe a zonelor de extrem ale funcției obiectiv.

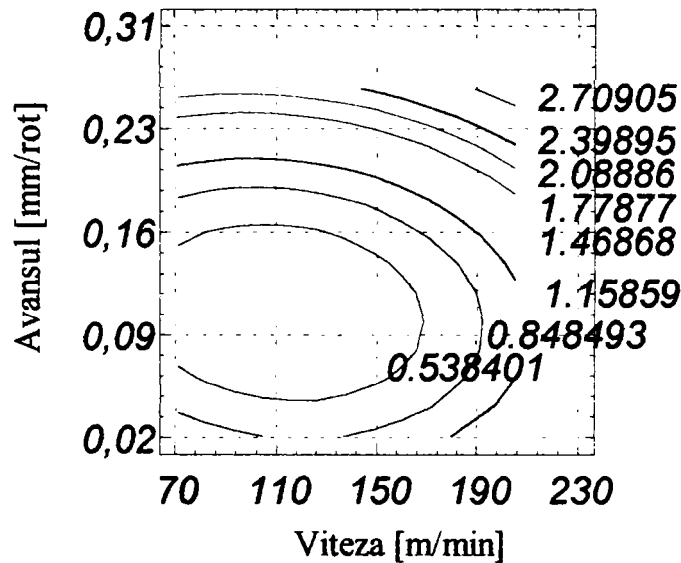


Figura 4.15. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Rugozitate în funcție de viteza și avansul de așchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

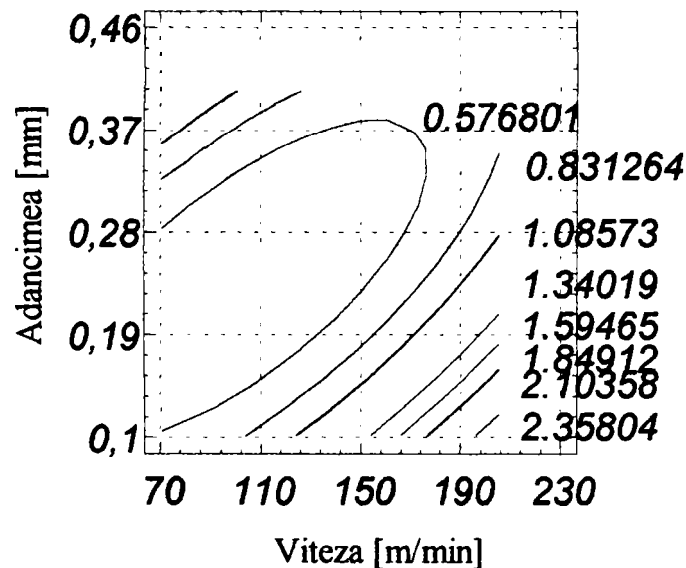


Figura 4.16. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Durabilitate în funcție de viteza și adâncimea de așchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

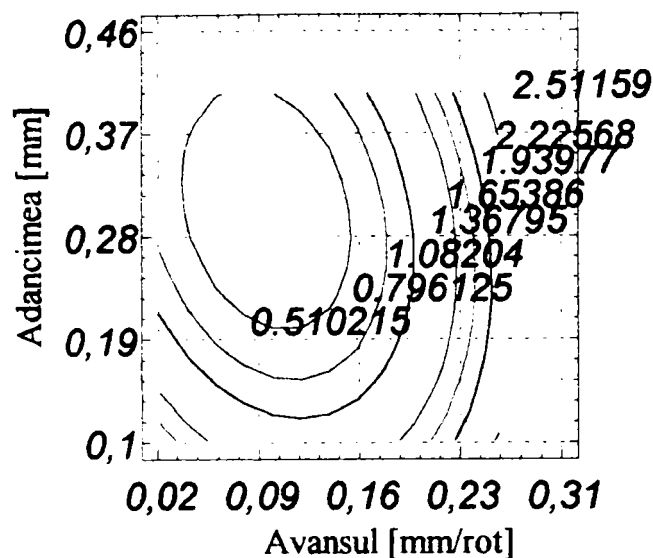


Figura 4.17. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Rugozitate în funcție de avansul și adâncimea de așchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

Din figura 4.15 se observă că funcția Rugozitate prezintă o zonă de extrem local (minim), adică se obține un optim pentru această funcție și anume $Ra=0,538 \mu\text{m}$ pentru valori ale vitezei de așchiere cuprinse între 70-150 m/min și valori ale avansului $f_n=0,06-0,16$ mm/rot.

În figura 4.16 se vede că rugozitatea prezintă un optim $Ra=0,576 \mu\text{m}$ pentru valori ale vitezei de așchiere $V_c= 70-150$ m/min și valori ale adâncimii de așchiere $a_p=0,1-0,35$ mm.

Din figura 4.17. reiese că valoarea optimă pentru rugozitate și anume $Ra=0,51 \mu\text{m}$ este atinsă atunci când avansul $f_n=0,06-0,16$ mm/rot și adâncimea de așchiere $a_p=0,22-0,33$ mm. Coroborând rezultatele de mai sus se poate aprecia că pentru obținerea unei rugozități optime în gama 0,51-0,57 μm parametrii regimului de așchiere trebuie să fie:

- $V_c= 70-150$ m/min,
- $f_n= 0,06-0,16$ mm/rot,
- $a_p= 0,1-0,35$ mm.

Luând în considerare și valorile parametrilor regimului de așchiere rezultate pentru obținerea unui optim pentru funcția Durabilitate și anume:

- $V_c= 70-110$ m/min,
- $f_n= 0,02-0,07$ mm/rot,
- $a_p= 0,1-0,15$ mm

și făcând intersecția acestor plaje de valori rezultă că pentru obținerea unei durabilități T_{max} și a unei rugozități R_a optim regimul de așchiere trebuie să fie:

- $V_{c_{opt}} = 70-110$ m/min,
- $f_{n_{opt}} = 0,06-0,07$ mm/rot,
- $a_{p_{opt}} = 0,1-0,15$ mm.

În figura 4.18 este prezentat graficul care arată care este concordanța între valorile estimate cu ajutorul modelului matematic considerat și valorile măsurate, pentru funcția obiectiv-Rugozitate.

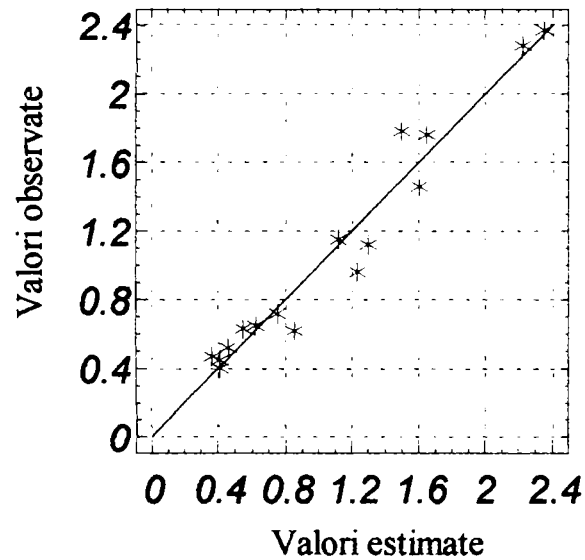


Figura 4.18. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-Rugozitate

Se observă că există o repartiție acceptabilă a valorilor estimate față de cele măsurate în timpul experimentelor. În figura 4.19 este prezentată probabilitatea normală a reziduurilor funcției Rugozitate

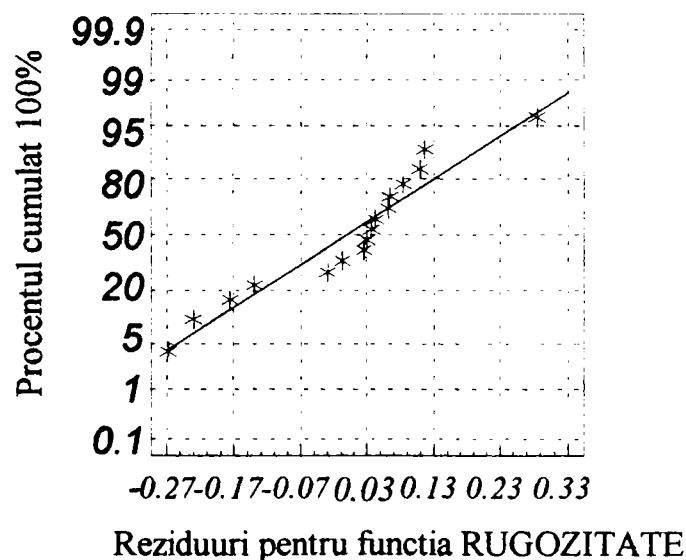


Figura 4.19. Probabilitatea normală a reziduurilor pentru funcția obiectiv- Rugozitate

În figura 4.20 este prezentată distribuția reziduurilor funcției obiectiv-Rugozitate în funcție de numărul încercării.

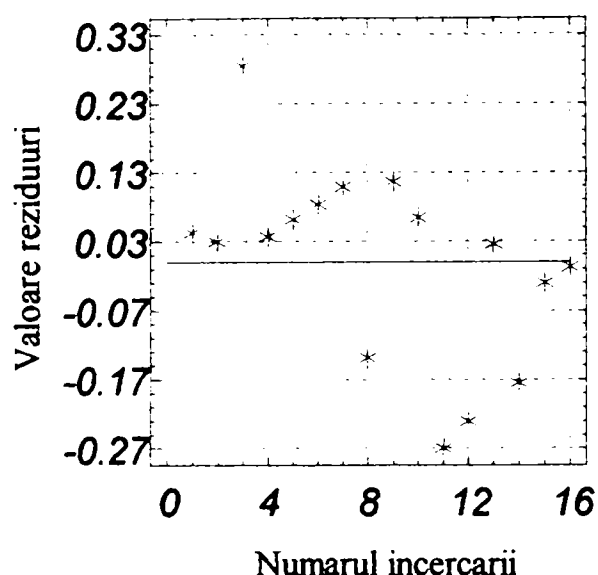


Figura 4.20. Distribuția reziduurilor pentru funcția obiectiv-Rugozitate în funcție de numărul experimentului

Din figura 4.20 se vede la fel ca și în cazul funcției Durabilitate (figura 4.10) o distribuție aleatoare a reziduurilor în funcție de numărul experimentului, lucru datorat și randomizării experimentelor și care reduce riscul apariției unor erori sistematice.

Concluzii

În urma realizării acestui experiment pot fi trase următoarele concluzii:

- Principalii factori care influențează funcția obiectiv DURABILITATE sunt viteza și avansul de așchiere a căror influență depășește influența adâncimii de așchiere.
- Valoarea maximă pentru funcția obiectiv DURABILITATE a fost obținută în general pentru valori minime ale variabilelor independente V_c , f_n , a_p .
- Factorul care a influențat în cea mai mare măsură funcția obiectiv RUGOZITATE a fost avansul de așchiere urmat în ordine de viteza și de adâncimea de așchiere. La fel ca în cazul funcției obiectiv DURABILITATE și de această dată se vede că adâncimea de așchiere are o influență mai redusă asupra funcției obiectiv RUGOZITATE în raport cu ceilalți doi parametri ai regimului de așchiere.
- Valorile optime atât pentru funcția obiectiv DURABILITATE cât și pentru funcția obiectiv RUGOZITATE s-au obținut pentru următorul regim de așchiere:

$$V_{c_{opt.}} = 70-110 \text{ m/min,}$$

$$f_{n_{opt.}} = 0,06-0,07 \text{ mm/rot,}$$

$$a_{p_{opt.}} = 0,1-0,15 \text{ mm.}$$

4.2. Cercetări privind influența vitezei și avansului de așchiere asupra durabilității sculei și a rugozității suprafeței așchiate din 100Cr6 cu scule din materiale ceramice și nitrură cubică de bor policristalină

Cel de-al doilea set de experimente a vizat studiul influenței vitezei de așchiere și a avansului de așchiere asupra a două funcții obiectiv și anume: DURABILITATEA sculei și RUGOZITATEA suprafeței așchiate utilizându-se patru materiale de sculă diferite, două din ceramice și două din nitrură cubică de bor policristalină. După cum se poate observa s-a renunțat în cadrul factorilor de influență la adâncimea de așchiere luându-se în considerare numai viteza și avansul de așchiere. S-a procedat în acest fel deoarece la precedentul experiment s-a observat că influența adâncimii de așchiere atât asupra durabilității sculei cât și a rugozității suprafeței așchiate este mult mai mică comparativ cu ceilalți factori de influență. Prin urmare, în acest caz s-a folosit un experiment factorial complet cu doi factori de influență și trei nivele de variație pentru fiecare factor de influență împărțite, 3^2 , care necesită nouă experimente dintre care unul în punctul central. Având patru materiale de sculă diferite au rezultat în total $9 \times 4 = 36$ teste. Ca și în cazul primului set de experimente s-a considerat ca și criteriu limită de uzură uzura pe fața de așezare $V_B = 0,2$ mm. În tabelele 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 sunt prezentate matricele program pentru fiecare material de sculă utilizat.

Tabel 4.7. Matricea program pentru un experiment factorial complet 3^2 pentru scula CC670

Nr. test	Viteza Vc (m/min)	Avansul fn (mm/rot)	Durabilit.T (min)	Rugozit. Ra (μm)
1	-1.	-1.	42,90	0,46
2	0.	-1.	19,29	0,76
3	1.	-1.	17,40	0,81
4	-1.	0.	16,01	0,78
5	0.	0.	6,30	0,76
6	1.	0.	0,69	1,16
7	-1.	1.	12,38	2,40
8	0.	1.	1,22	1,86
9	1.	1.	0,17	2,50

Tabel 4.8. Matricea program pentru un experiment factorial complet 3^2 pentru scula

CC650

Nr. test	Viteza_Vc (m/min)	Avansul_fn (mm/rot)	Durabilit.T (min)	Rugozit. Ra (μ m)
1	-1.	-1.	162,700	0,45
2	0.	-1.	40,200	0,96
3	1.	-1.	38,760	1,17
4	-1.	0.	69,520	1,19
5	0.	0.	0,240	1,15
6	1.	0.	0,320	1,89
7	-1.	1.	21,500	2,20
8	0.	1.	0,220	2,80
9	1.	1.	0,096	3,40

Tabel 4.9 Matricea program pentru un experiment factorial complet 3^2 pentru scula

CB7020

Nr. test	Viteza_Vc (m/min)	Avansul_fn (mm/rot)	Durabilit.T (min)	Rugozit.Ra (μ m)
1	-1.	-1.	190,00	0,80
2	0.	-1.	160,00	0,60
3	1.	-1.	64,50	0,75
4	-1.	0.	73,85	2,11
5	0.	0.	70,34	1,10
6	1.	0.	19,80	1,30
7	-1.	1.	70,39	3,27
8	0.	1.	37,70	2,69
9	1.	1.	11,16	2,00

Tabel 4.10. Matricea program pentru un experiment factorial complet 3^2 pentru scula DBN45

Nr. test	Viteza_Vc (m/min)	Avansul_fn (mm/rot)	Durabilit.T (min)	Rugozit. Ra (μm)
1	-1.	-1.	172,74	0,6
2	0.	-1.	55,22	1,7
3	1.	-1.	20,00	1,8
4	-1.	0.	61,00	0,6
5	0.	0.	13,50	0,8
6	1.	0.	2,38	1,0
7	-1.	1.	51,46	2,3
8	0.	1.	15,42	2,8
9	1.	1.	6,29	3,0

În tabelele prezentate mai sus, pe coloanele corespunzătoare variabilelor independente și anume viteza și avansul de așchiere sunt prezentate valorile codificate. În coloanele repartizate pentru funcțiile obiectiv respectiv Durabilitatea T și Rugozitatea Ra sunt înscrise valorile fizice măsurate în urma fiecărui experiment. Legătura dintre valorile codificate și valorile fizice pentru variabilele independente pentru cel de-al doilea set de experimente a fost prezentată în tabelul 3.3. Experimentele s-au realizat utilizând o valoare constantă pentru adâncimea de așchiere considerată optimă de către producătorii de astfel de scule așchietoare și anume $a_p=0,25$ mm. Valorile fizice alese pentru viteza și avansul de așchiere au fost prezentate în tabelul 3.3 și la fel ca și în cazul vitezei de așchiere, ele au fost alese în conformitate cu recomandările producătorilor de scule așchietoare existente în literatura de specialitate [145, 149, 151].

Pentru modelarea matematică a acestui experiment pe baza informațiilor culese din literatura de specialitate [89, 90, 40, 99], s-a concluzionat că modelul de tip polinom de gradul al doilea este cel mai adecvat, lucru ce a fost explicat și în capitolul 3. paragraful 3.1.

Analiza dispersională pentru un experiment factorial complet 3^2 cu nouă încercări, dintre care una în punctul central a fost determinată cu ajutorul programului STATGRAPHICS pentru cazurile celor patru materiale de sculă utilizate și pentru fiecare

funcție obiectiv împarte. În tabelele 4.11, 4.12, 4.13 și 4.14 este prezentată analiza dispersională pentru funcția obiectiv-Durabilitate.

Tabelul 4.11. Analiza dispersională pentru experimentul factorial 3^2 considerând ca funcție obiectiv Durabilitatea, iar ca variabile independente, viteza și avansul de așchiere,

pentru scula CC670

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza Vc	468,696817	1	468,69682	45,49	,0067
B:Avansul fn	722,045400	1	722,04540	70,08	,0036
AB	44,156025	1	44,15603	4,29	,1302
AA	71,720272	1	71,72027	6,96	,0778
BB	124,609422	1	124,60942	12,09	,0401
Eroare totală:	30,908553	3	10,30285		

Dispersie totală: 1462,13649 8

$$R^2 = 0,978861$$

$$R^2 \text{ (ajustat pt. nr. grade libertate)} = 0,943629$$

Dat fiind faptul că valoarea critică a criteriului F pentru pragul de semnificație $\alpha=0,05$ și numărul de grade de libertate $v_1=1$ și $v_2=3$ este $F_{0,05;1;6}=10,13$ (vezi Anexa 1), rezultă ne semnificative cu o siguranță a afirmației de 95% ($P=1-\alpha$), că interacțiunea AB și AA. Acest lucru este prezentat și în figura 4.21 care prezintă histograma efectelor standard.

Tabelul 4.12. Analiza dispersională pentru experimentul factorial 3^2 considerând ca funcție obiectiv Durabilitatea, iar ca variabile independente, viteza și avansul de așchiere,

pentru scula CC650

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza_Vc	7671,52132	1	7671,5213	27,53	,0135
B:Avansul_fn	8055,23072	1	8055,2307	28,90	,0126
AB	2628,40782	1	2628,4078	9,43	,0545
AA	2486,91132	1	2486,9113	8,92	,0583
BB	844,82421	1	844,8242	3,03	,1800
Eroare totală:	836,09186	3	278,6973		

Dispersie totală: 22522,9873 8

$$R^2 = 0,962878$$

$$R^2 \text{ (ajustat pt. nr. grade libertate)} = 0,901009$$

Valoarea critică a criteriului F pentru pragul de semnificație $\alpha=0,05$ și numărul de grade de libertate $v_1=1$ și $v_2=3$ este $F_{0,05;1;6}=10,13$ menționat mai sus dar și în Anexa 1. rezultă că interacțiunea AB și termenii pătratici AA și BB sunt ne semnificativi lucru confirmat și de histograma efectelor standard din figura 4.22.

Tabelul 4.13. Analiza dispersională pentru experimentul factorial 3^2 considerând ca funcție obiectiv Durabilitatea, iar ca variabile independente, viteza și avansul de așchiere. pentru scula CB7020

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza Vc	9502,6481	1	9502,648	29,99	,0120
B:Avansul fn	14528,7604	1	14528,760	45,85	,0066
AB	1097,9282	1	1097,928	3,46	,1596
AA	628,7058	1	628,706	1,98	,2537
BB	2352,2941	1	2352,294	7,42	,0723
Eroare totală:	950,6228	3	316,874		

Dispersie totală: 29060.9594 8

$$R^2 = 0,967289$$

$$R^2 \text{ (ajustat pt. nr. grade libertate)} = 0,91277$$

La fel ca și în cazurile precedente dacă se ia în considerare valoarea critică a criteriului Fisher F pentru pragul de semnificație $\alpha=0,05$ și numărul de grade de libertate $v_1=1$ și $v_2=3$ se observă că valoarea acestuia este $F_{0,05;1;6}=10,13$ conform Anexa 1. În acest caz se poate spune cu o siguranță a afirmației de 95% ($P= 1-\alpha$) că interacțiunea AB, precum și termenii pătratici AA și BB sunt ne semnificativi.

Acest lucru este vizibil cu ușurință din histograma efectelor standard prezentată în figura 4.23.

Tabelul 4.14. Analiza dispersională pentru experimentul factorial 3^2 considerând ca funcție obiectiv Durabilitatea, iar ca variabile independente, viteza și avansul de așchiere, pentru scula DBN45

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza_Vc	10967,9402	1	10967,940	39,41	,0082
B:Avansul_fn	5091,9240	1	5091,924	18,30	,0235
AB	2892,8262	1	2892,826	10,39	,0484
AA	1177,5805	1	1177,580	4,23	,1319
BB	1556,2621	1	1556,262	5,59	,0990
Eroare totală:	834,8807	3	278,294		

Dispersie totală: 22521,4136 8

$$R^2 = 0,962929$$

$$R^2 \text{ (ajustat pt. nr. grade libertate)} = 0,901145$$

În această situație analizând tabelul 4.14 și ținând cont de faptul că valoarea critică a criteriului F pentru pragul de semnificație $\alpha=0,05$ și numărul de grade de libertate $v_1=1$ și $v_2=3$ este $F_{0,05;1;6}=10,13$, reiese că influența termenilor pătratici AA și BB este nesemnificativă cu o siguranță a afirmației de $P=1-\alpha$ adică de 95%. Histograma efectelor standard din figura 4.24 vine să confirme acest lucru.

După cum se poate observa în toate cele patru cazuri, deci indiferent de materialul de sculă utilizat valoarea coeficientului R^2 care reprezintă de fapt precizia de estimare a modelului matematic conceput, este de peste 90%. Se poate aprecia că relația dintre variabilele independente și funcția obiectiv este determinată corect cu o precizie a afirmației de peste 90%. Utilizând același software s-au determinat coeficienții de regresie care reprezintă de fapt coeficienții polinomului de gradul al doilea. În tabelele 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 sunt prezentați coeficienții de regresie ai polinomului de gradul al doilea pentru fiecare experiment realizat cu câte un material de sculă.

Tabel 4.15. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Durabilitate în cazul așchierii cu scula CC670

Coeficient	Valoare
Constant	3,67444
A:Viteza	-8,83833
B:Avansul	-10,97
AB	3,3225
AA	5,98833
BB	7,89333

Tabel 4.16. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Durabilitate în cazul așchierii cu scula CC650

Coeficient	Valoare
Constant	-0,148444
A:Viteza	-35,7573
B:Avansul	-36,6407
AB	25,634
AA	35,2627
BB	20,5527

Tabel 4.17. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Durabilitate în cazul așchierii cu scula CB7020

Coeficient	Valoare
Constant	66,4833
A:Viteza	-39,7967
B:Avansul	-49,2083
AB	16,5675
AA	-17,73
BB	34,295

Tabel 4.18. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Durabilitate în cazul aşchierii cu scula DBN45

Coeficient	Valoare
Constant	9,45
A:Viteza	-42,755
B:Avansul	-29,1317
AB	26,8925
AA	24,265
BB	27,895

Cunoscând coeficienții de regresie pot fi scrise relațiile pentru modelul matematic, care am menționat ca este un polinom de gradul al doilea. Vom avea deci următoarele relații pentru modelul matematic în cazul funcției obiectiv-Durabilitate:

Pentru scula CC670:

$$Y=3,674-8,838X_1-10,97X_2+3,322X_1X_2+5,998X_1^2+7,893X_2^2, \quad (4.5)$$

Tinând cont că pentru cazul acestui material de sculă au fost considerate cu o siguranță a afirmației de 95% ca fiind ne semnificative influența interacțiunii AB și a termenului AA, atunci modelul matematic va fi de forma:

$$Y=3,674-8,838X_1-10,97X_2+7,893X_2^2 \quad (4.6)$$

Pentru scula CC650:

$$Y= -0,14-35,757X_1-36,64X_2+25,634X_1X_2+35,262X_1^2+20,5527X_2^2, \quad (4.7)$$

În acest caz au fost considerate ne semnificative cu o siguranță a afirmației de 95% influențele termenilor AB, AA și BB. În această situație modelul matematic are următoarea formă:

$$Y= -0,14-35,757X_1-36,64X_2 \quad (4.8)$$

Pentru scula CB7020:

$$Y= 66,483-39,796X_1-49,208X_2+16,567X_1X_2-17,73X_1^2+34,295X_2^2,$$

Luând în considerare analiza dispersională din tabelul 4.2.7 pentru cazul sculei CB7020 a rezultat ne semnificativă cu o siguranță a afirmației de 95% influența interacțiunii AB și a termenilor pătratici AA și BB. Modelul matematic va fi prin urmare:

$$Y= 66,483-39,796X_1-49,208X_2 \quad (4.9)$$

Pentru scula DBN45:

$$Y = 9,45 - 42,755X_1 - 29,131X_2 + 26,892X_1X_2 + 24,265X_1^2 + 27,895X_2^2, \quad (4.10)$$

Pentru cazul sculei din DBN45 din analiza dispersională prezentată în tabelul 4.14 a rezultat cu o siguranță a afirmației de 95% că influența termenilor pătratici AA și BB este ne semnificativă. Prin urmare modelul matematic în acest caz va fi de forma:

$$Y = 9,45 - 42,755X_1 - 29,131X_2 + 26,892X_1X_2, \quad (4.11)$$

În tabelele 4.19, 4.20, 4.21 și 4.22 sunt prezentate valorile numerice ale efectelor variabilelor independente considerate asupra funcției obiectiv-Durabilitatea sculei.

Tabel 4.19. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Durabilitate la așchiera cu scula CC670

Variabila independentă	Valoare efect	Abateră standard
Constant	3,67444	+/- 2,39245
A: Viteza de așchiere	-17,6767	+/- 2,6208
B: Avansul de așchiere	-21,94	+/- 2,6208
AB	6,645	+/- 3,20981
AA	11,9767	+/- 4,53935
BB	15,7867	+/- 4,53935

Tabel 4.20. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Durabilitate la așchiera cu scula CC650

Variabila independentă	Valoare efect	Abateră standard
Constant	-0,148444	+/- 12,4431
A: Viteza de așchiere	-71,5147	+/- 13,6308
B: Avansul de așchiere	-73,2813	+/- 13,6308
AB	51,268	+/- 16,6942
AA	70,5253	+/- 23,6092
BB	41,1053	+/- 23,6092

Tabel 4.21. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Durabilitate la
așchiera cu scula CB7020

Variabila independentă	Valoare efect	Abaterea standard
Constant	66,4833	+/- 13,2681
A: Viteza de așchiere	-79,5933	+/- 14,5344
B: Avansul de așchiere	-98,4167	+/- 14,5344
AB	33,135	+/- 17,801
AA	-35,46	+/- 25,1744
BB	68,59	+/- 25,1744

Tabel 4.22. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Durabilitate la
așchiera cu scula DBN45

Variabila independentă	Valoare efect	Abaterea standard
Constant	9,45	+/- 12,4341
A: Viteza de așchiere	-85,51	+/- 13,6209
B: Avansul de așchiere	-58,2633	+/- 13,6209
AB	53,785	+/- 16,6821
AA	48,53	+/- 23,5921
BB	55,79	+/- 23,5921

La fel ca și în cazul experimentului precedent valoarea unui efect este egală cu dublul coeficientului de regresie corespunzător, cu excepția efectului mediu global care este egal cu termenul liber al polinomului. Un alt mod de apreciere a influenței variabilelor independente asupra funcției obiectiv, îl constituie histograma efectelor factorilor de influență asupra funcției obiectiv. Aceste histograme sunt prezentate în figurile 4.21, 4.22, 4.23 și 4.24.

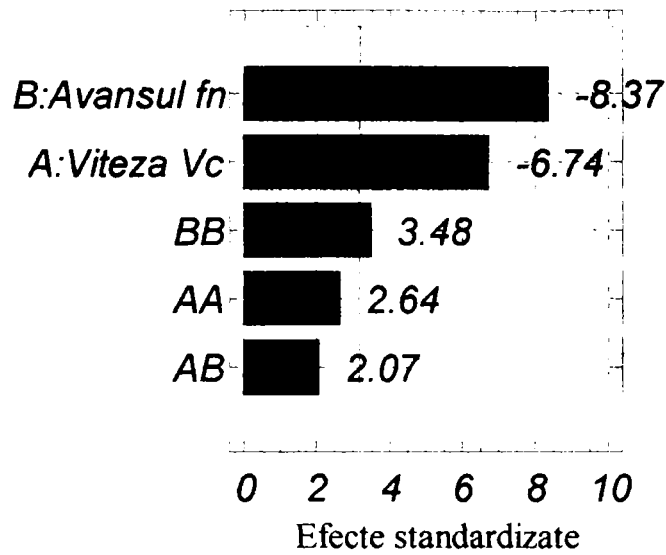


Figura 4.21. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Durabilitate în cazul așchierii cu sula CC670

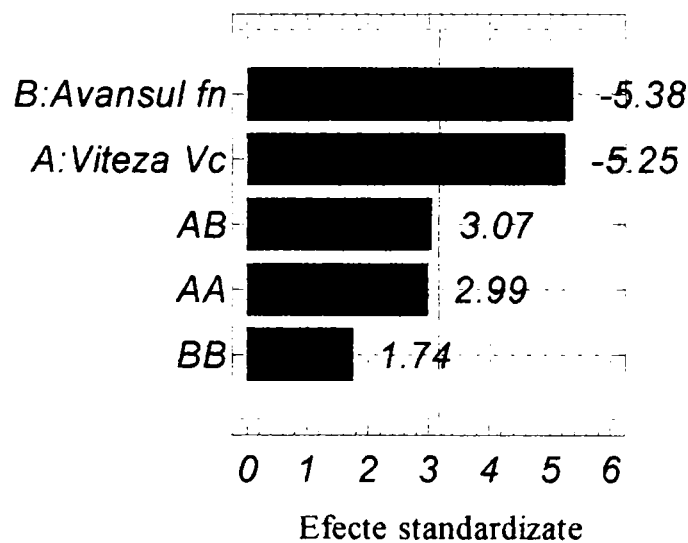


Figura 4.22. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Durabilitate în cazul așchierii cu sula CC650

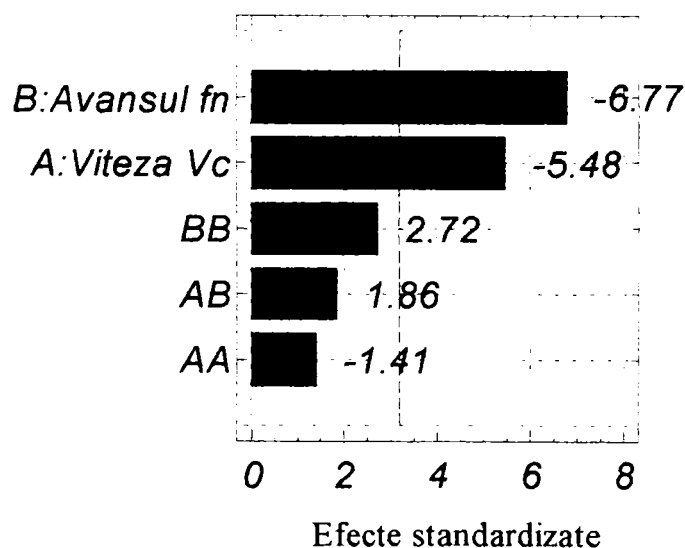


Figura 4.23. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Durabilitate în cazul așchierii cu sula CB7020

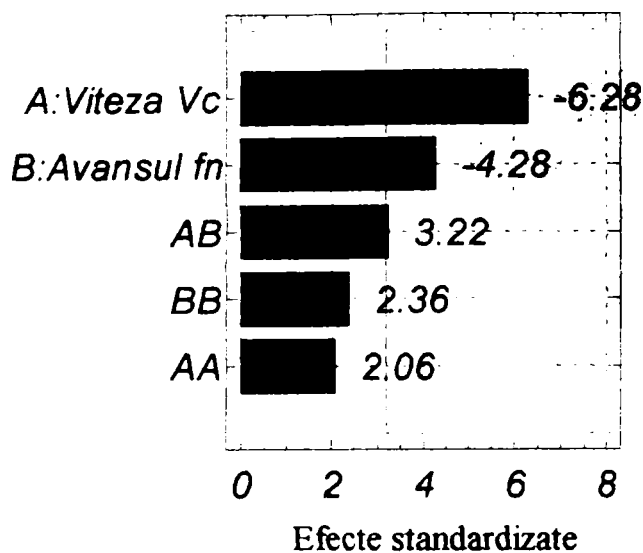


Figura 4.24. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv- Durabilitate în cazul așchierii cu scula DBN45

Din cele patru figuri prezentate se poate observa că pentru sculele CC670, CC650, CB7020 influența avansului asupra durabilității depășește cu puțin influența vitezei de așchiere existând o diferență mică. În cazul sculei din DBN45 se observă că influența vitezei de așchiere depășește cu puțin influența avansului de așchiere. În figurile 4.25, 4.26, 4.27 și 4.28 sunt prezentate suprafețele de răspuns pentru funcția obiectiv- Durabilitate în funcție de variabilele independente viteză și avans de așchiere.

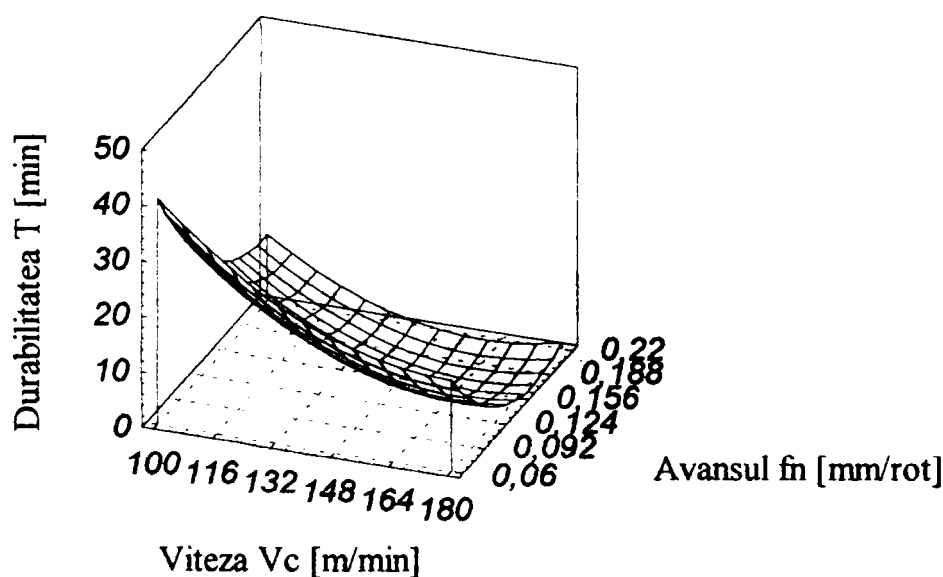


Figura 4.25. Influența vitezei de așchiere și a avansului asupra funcției obiectiv- Durabilitate la așchieria cu scula CC670

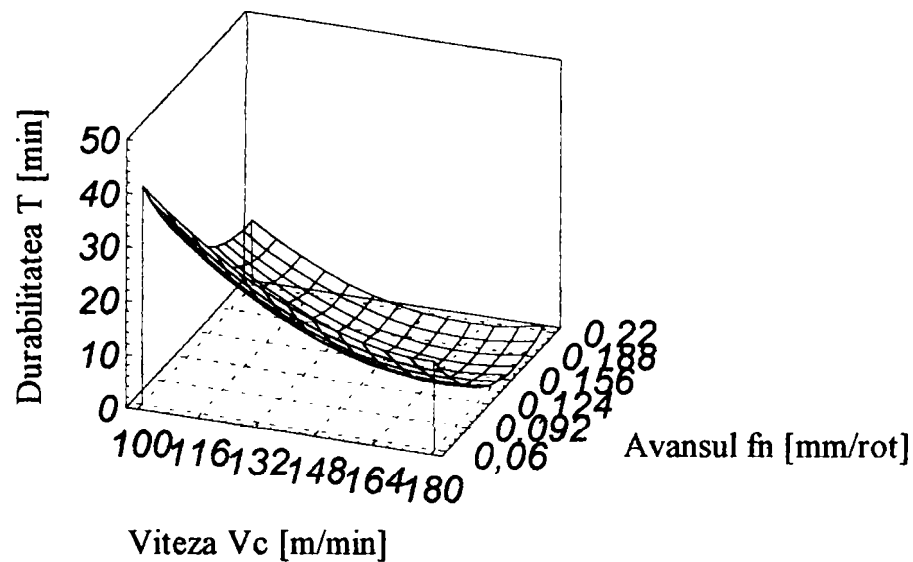


Figura 4.26. Influența vitezei de așchiere și a avansului asupra funcției obiectiv-Durabilitate la așchiera cu scula CC650

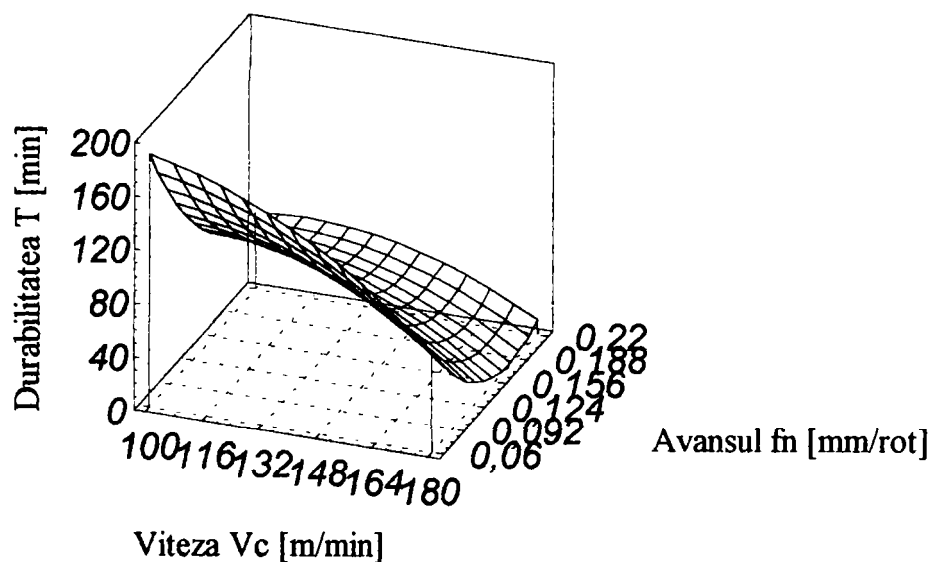


Figura 4.27. Influența vitezei de așchiere și a avansului asupra funcției obiectiv-Durabilitate la așchiera cu scula CB7020

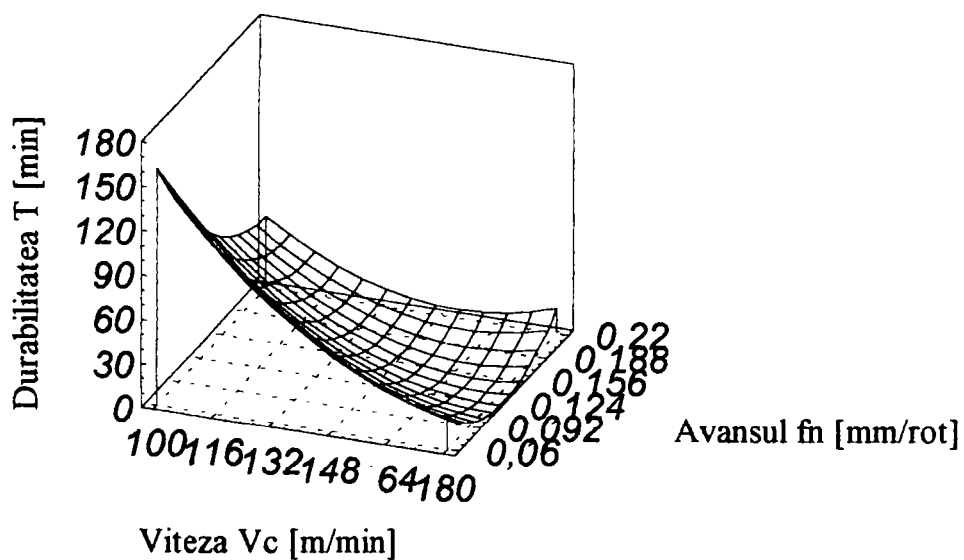


Figura 4.28. Influența vitezei de așchiere și a avansului asupra funcției obiectiv-Durabilitate la așchiera cu scula DBN45

Analizând toate cele patru figuri se vede așa cum era de așteptat că odată cu creșterea vitezei de așchiere se produce o scădere a durabilității sculei, deci durabilitatea T este invers proporțională cu viteza de așchiere. De asemenea se observă că o creștere a avansului de așchiere conduce la micșorarea durabilității sculei, lucru ce apare mai pregnant la viteze de așchiere în jurul a 100 m/min. Pentru a analiza mai bine valorile la care se obțin durabilități optime (maxime) se trasează curbele de nivel constant care așa cum s-a arătat și în paragraful 4.1 se obțin prin secționarea suprafețelor de răspuns cu plane paralele cu planul factorilor de influență. În figurile 4.29, 4.30, 4.31 și 4.32 sunt prezentate curbele de nivel constant în funcție de viteza și avansul de așchiere pentru toate cele patru tipuri de sculă utilizate.

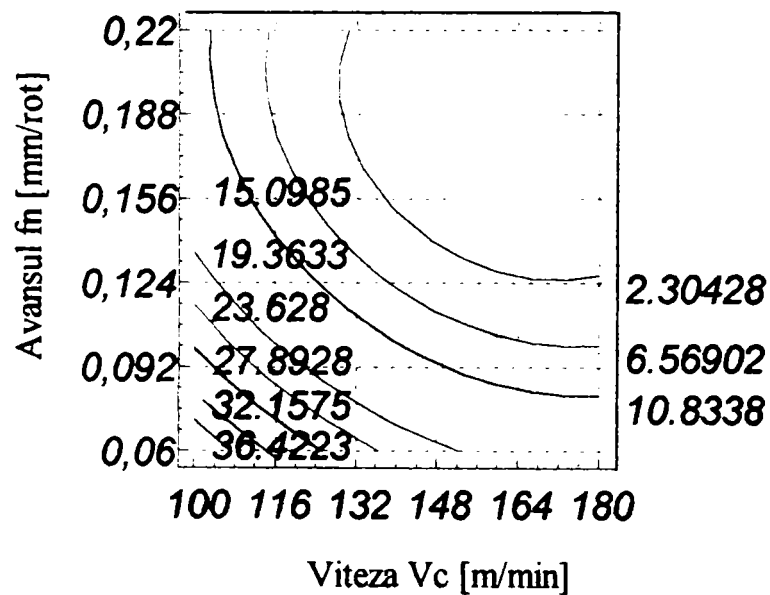


Figura 4.29. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Durabilitate la așchieria oțelului 100Cr6 cu scula CC670

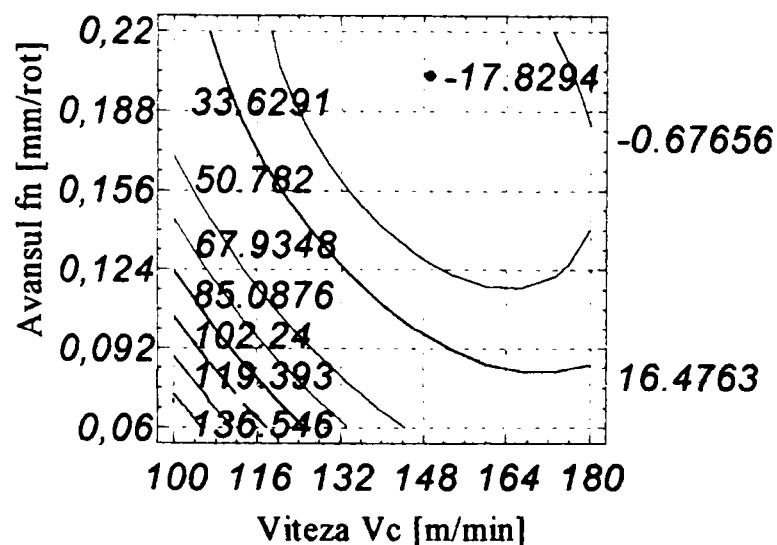


Figura 4.30. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Durabilitate la așchieria oțelului 100Cr6 cu scula CC650

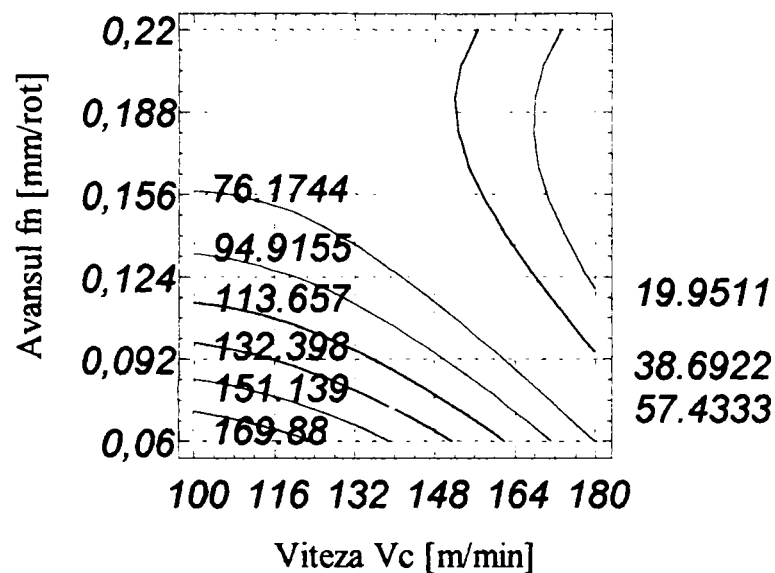


Figura 4.31. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Durabilitate la așchieria oțelului 100Cr6 cu scula CB7020

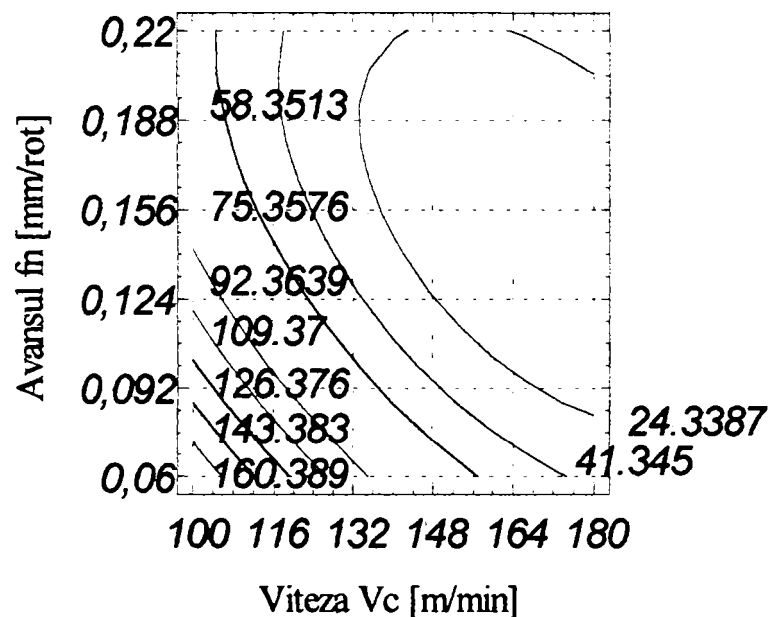


Figura 4.32. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Durabilitate la așchieria oțelului 100Cr6 cu scula DBN45

Din cele patru figuri 4.29, 4.30, 4.31 și 4.32 se poate analiza mai ușor pentru ce valori ale variabilelor independente se poate obține un maxim pentru funcția DURABILITATE. Se poate vedea că în toate cazurile valorile maxime pentru funcția Durabilitate se obțin pentru viteze de așchiere în gama $V_c=100-116$ m/min și avansuri de așchiere $f_n=0,06-0,092$ mm/rot. Singurul lucru care diferă este valoarea fizică a Durabilității maxime care în timp ce pentru scula CC670 este în jur de 36 min, la scula CC650 depășește 136 min, la scula din NCBP - CB7020 este în jur de 169 min și în fine

la scula DBN45 atinge 160 min. În concluzie pentru obținerea unei durabilități optime este necesar să se lucreze cu regimuri de așchiere în gama:

- $V_c=100-116$ m/min,
- $f_n=0,06-0,092$ mm/rot

De menționat că s-a lucrat cu o viteză de așchiere $a_p=0,25$ mm.

Precizia de estimare a modelului matematic utilizat poate fi apreciată și prin buna concordanță ce există între valorile estimate cu ajutorul modelului matematic adoptat și valorile măsurate efectiv pentru funcția Durabilitate. Așa cum se observă din figurile 4.33, 4.34, 4.35 și 4.36.

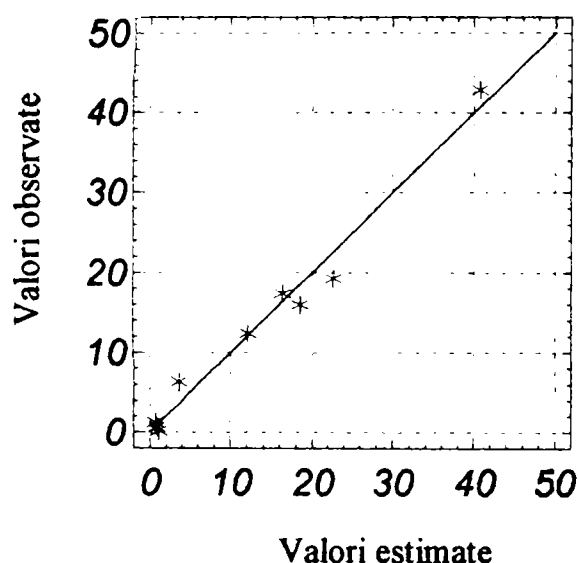


Figura 4.33. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-Durabilitate la așchieria oțelului 100Cr6 cu scula CC670

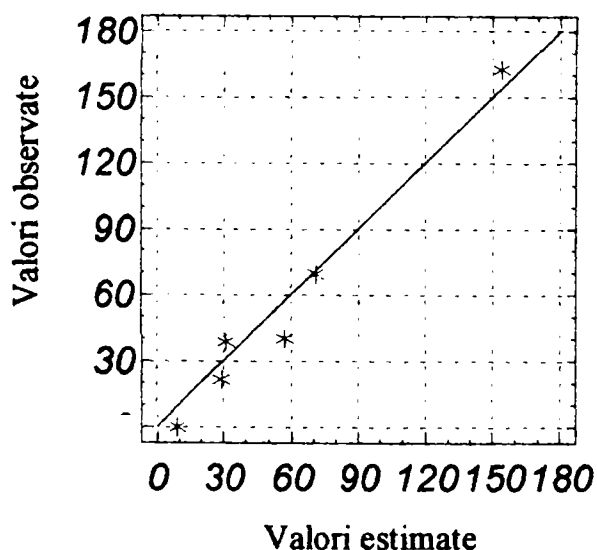


Figura 4.34. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-Durabilitate la așchieria oțelului 100Cr6 cu scula CC650

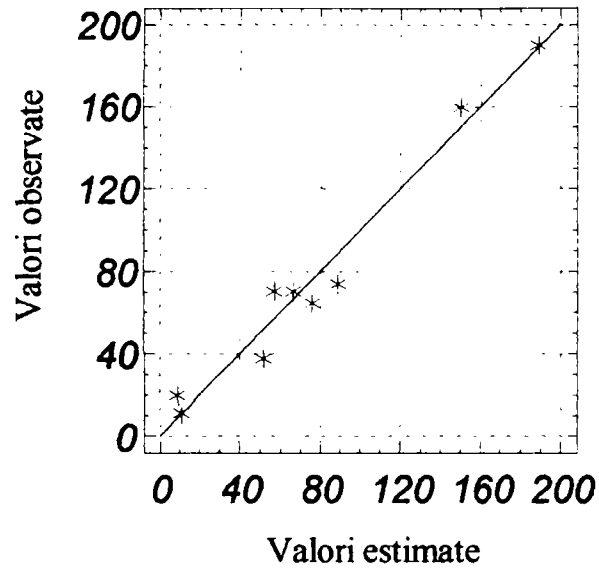


Figura 4.35. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-Durabilitate la aşchiera oțelului 100Cr6 cu scula CB7020

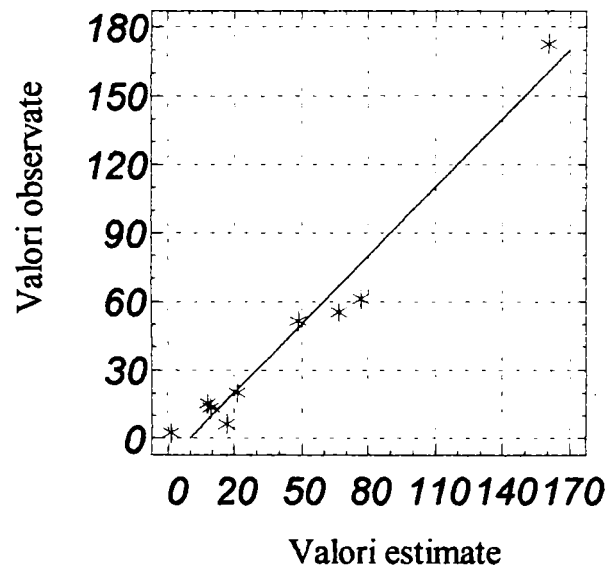
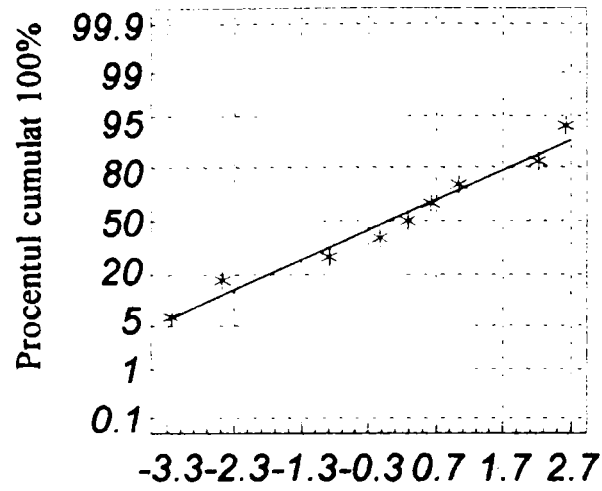


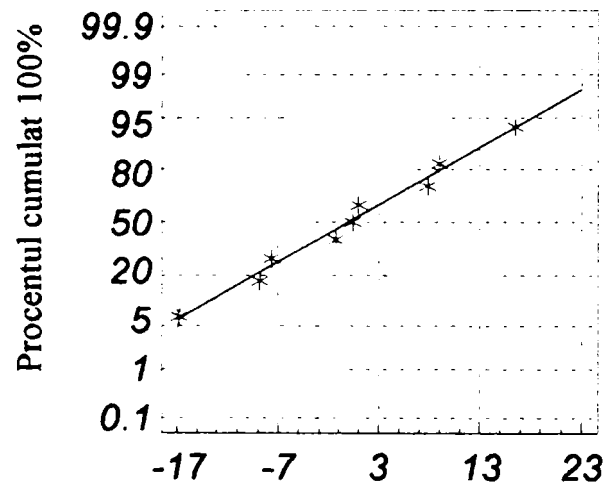
Figura 4.36. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-Durabilitate la aşchiera oțelului 100Cr6 cu scula DBN45

În figurile 4.37, 4.38, 4.39 și 4.40 este prezentată probabilitatea cumulată a reziduurilor pentru fiecare material de sculă folosit. Aceasta reprezintă un alt instrument statistic care vine să confirme adecvanța modelului matematic adoptat.



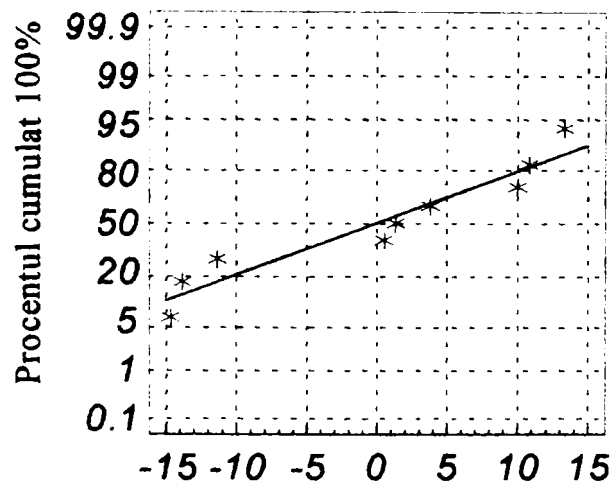
Reziduuri pentru funcția DURABILITATE

Figura 4.37. Probabilitatea normală pentru funcția obiectiv-Durabilitate la aşchierea oțelului 100Cr6 cu scula CC670



Reziduuri pentru funcția DURABILITATE

Figura 4.38. Probabilitatea normală pentru funcția obiectiv-Durabilitate la aşchierea oțelului 100Cr6 cu scula CC650



Reziduuri pentru funcția DURABILITATE

Figura 4.39. Probabilitatea normală pentru funcția obiectiv-Durabilitate la aşchierea oțelului 100Cr6 cu scula CB7020

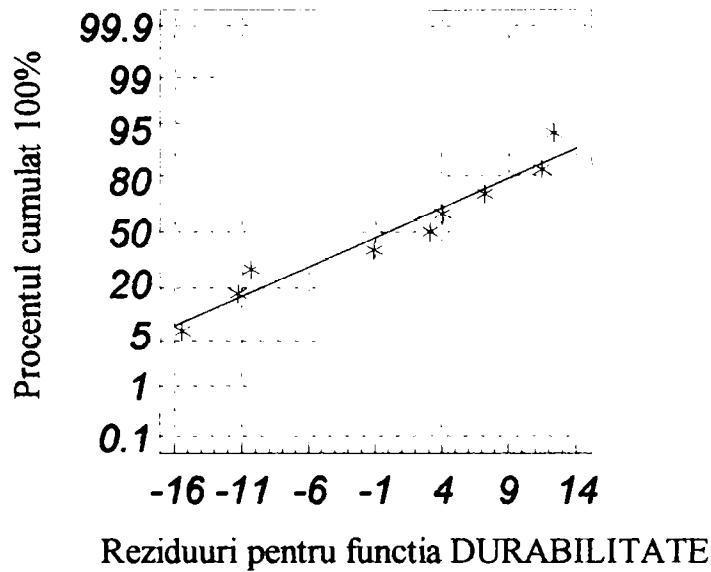


Figura 4.40. Probabilitatea normală pentru funcția obiectiv-Durabilitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula DBN45

În figurile 4.41, 4.42, 4.43 și 4.44 este reprezentată variația reziduurilor funcției Durabilitate în funcție de ordinea efectuării testelor pentru fiecare material de sculă utilizat. În toate cele patru figuri se poate observa o distribuție aleatoare a reziduurilor în funcție de numărul testului, ceea ce conduce la concluzia că nu au existat erori sistematice care să influențeze rezultatele obținute. La acest lucru a contribuit și randomizarea experimentelor.

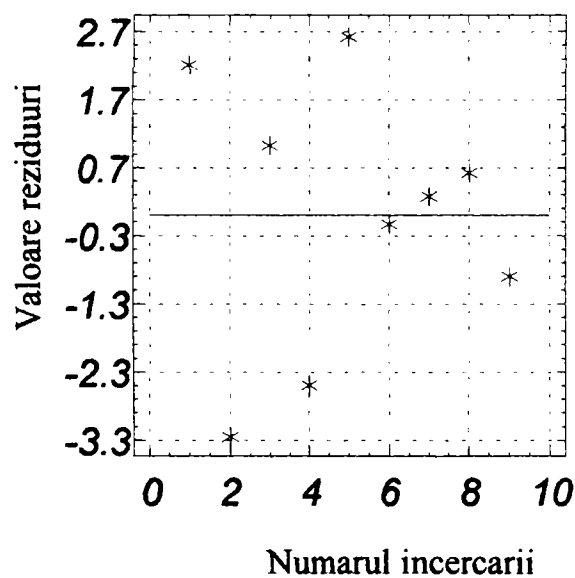


Figura 4.41. Distribuția reziduurilor funcției obiectiv-Durabilitate în funcție de numărul testului la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC670

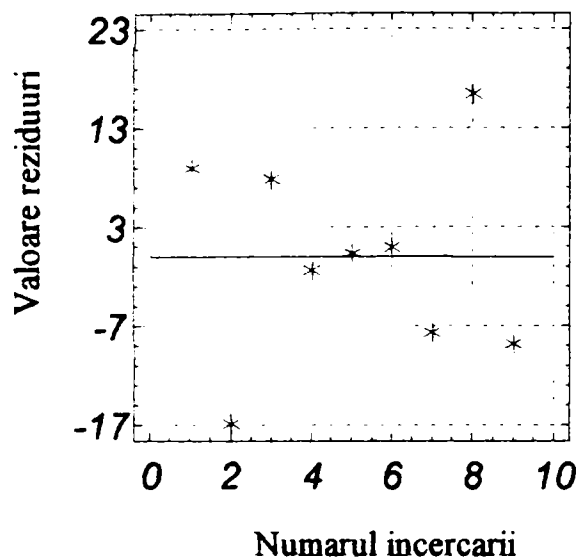


Figura 4.42. Distribuția reziduurilor funcției obiectiv-Durabilitate în funcție de numărul testului la aşchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC650

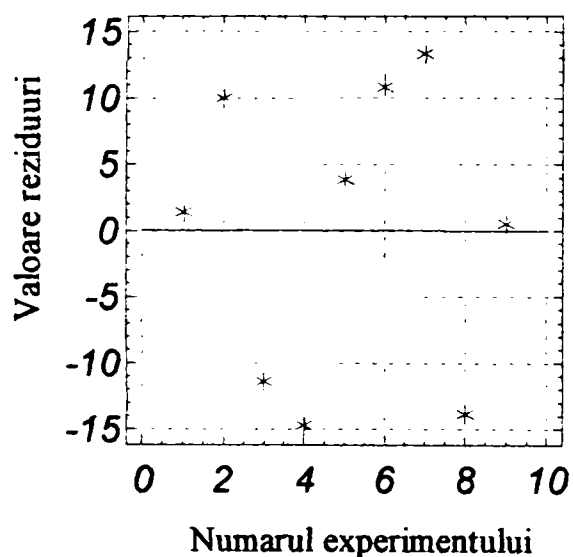


Figura 4.43. Distribuția reziduurilor funcției obiectiv-Durabilitate în funcție de numărul testului la aşchiera oțelului 100Cr6 cu scula CB7020

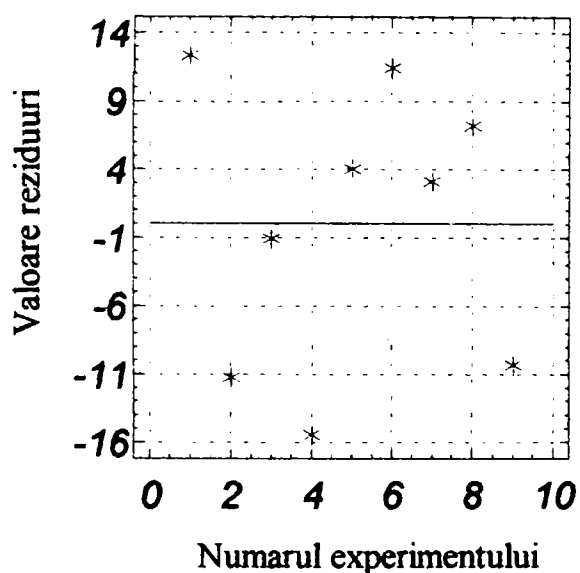


Figura 4.44. Distribuția reziduurilor funcției obiectiv-Durabilitate în funcție de numărul testului la aşchiera oțelului 100Cr6 cu scula DBN45

În același mod ca cel prezentat anterior s-a făcut și analiza funcției obiectiv Rugozitate în funcție de variabilele independente viteză și avans de așchiere pentru fiecare tip de sculă așchietoare folosită. Analiza dispersională s-a făcut tot cu programul STATGRAPHICS. În tabelele 4.23, 4.24, 4.25 și 4.26 este prezentată analiza dispersională pentru funcția obiectiv-Rugozitate în cazul celor patru materiale de sculă folosite.

Tabelul 4.23. Analiza dispersională pentru experimentul factorial 3^2 considerând ca funcție obiectiv Rugozitatea, iar ca variabile independente, viteza și avansul de așchiere, pentru scula CC670

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza Vc	,11481667	1	,1148167	1,93	,2591
B:Avansul fn	3,72881667	1	3,7288167	62,62	,0042
AB	,01562500	1	,0156250	,26	,6489
AA	,10125000	1	,1012500	1,70	,2833
BB	,63845000	1	,6384500	10,72	,0466
Eroare totală:	,17864167	3	,0595472		
Dispersie totală: 4,77760000		8			

$$R^2 = 0,962608$$

$$R^2 \text{ (ajustat pt. nr. grade libertate)} = 0,900289$$

Analizând tabelul de mai sus și ținând cont de faptul că valoarea critică a criteriului F pentru pragul de semnificație $\alpha=0,05$ și numărul de grade de libertate $v_1=1$ și $v_2=3$ este $F_{0,05;1;6}=10,13$ (vezi Anexa 1), rezultă ne semnificative cu o siguranță a afirmației de 95% ($P=1-\alpha$), influențele termenului liber A, a interacțiunii AB și a termenului pătratic AA. Acest lucru este confirmat și de histograma efectelor standardizate care va fi prezentată în figura 4.2.25. După cum se vede valoarea coeficientului R^2 ajustat pentru numărul gradelor de libertate este de $R^2=0,900289$, adică precizia de estimare a modelului matematic folosit este de 90%.

Tabelul 4.24. Analiza dispersională pentru experimentul factorial 3^2 considerând ca funcție obiectiv Rugozitatea, iar ca variabile independente, viteza și avansul de așchiere, pentru scula CC650

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza Vc	1,14406667	1	1,1440667	27,21	,0137
B:Avansul fn	5,64540000	1	5,6454000	134,27	,0014
AB	,05760000	1	,0576000	1,37	,3263
AA	,01280000	1	,0128000	,30	,6250
BB	,35280000	1	,3528000	8,39	,0627
Eroare totală:	,12613333	3	,0420444		

Dispersie totală: 7.33880000

8

$$R^2 = 0,982813$$

$$R^2 \text{ (ajustat pt. nr. grade libertate)} = 0,954167$$

Ținând cont că și în acest caz valoarea critică a criteriului Fisher este $F_{0,05;1;6}=10,13$ (vezi Anexa 1) pentru pragul de semnificație $\alpha=0.05$ și numărul de grade de libertate $v_1=1$ și $v_2=3$, atunci se vor considera ne semnificative cu o siguranță a afirmației de 95% ($P=1-\alpha$) influențele interacțiunii AB și ale termenilor pătratici AA și BB conform tabelului 4.24.

Tabelul 4.25. Analiza dispersională pentru experimentul factorial 3^2 considerând ca funcție obiectiv Rugozitatea, iar ca variabile independente, viteza și avansul de așchiere, pentru scula CB7020

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza Vc	,75615000	1	,7561500	14,44	,0320
B:Avansul fn	5,62601667	1	5,6260167	107,40	,0019
AB	,37210000	1	,3721000	7,10	,0760
AA	,11680556	1	,1168056	2,23	,2322
BB	,06600556	1	,0660056	1,26	,3434
Eroare totală:	,15714444	3	,0523815		

Dispersie totală: 7,09422222

8

$$R^2 = 0,977849$$

$$R^2 \text{ (ajustat pt. nr. grade libertate)} = 0,940931$$

La fel ca în cazurile precedente se analizează influența variabilelor independente luându-se în considerare criteriul Fisher a cărui valoare este tot $F_{0,05;1;6}=10,13$. Prin urmare se

pot aprecia ca nesemnificative influențele interacțiunii AB și cele ale termenilor pătratici AA și BB în concordanță cu datele din tabelul 4.25. Acest lucru reiese și din analiza histogramei efectelor standardizate din figura 4.2.27.

Tabelul 4.26. Analiza dispersională pentru experimentul factorial 3^2 considerând ca funcție obiectiv Rugozitatea, iar ca variabile independente, viteza și avansul de așchiere.
pentru scula DBN45

Sursa dispersiei	Suma pătratelor	Grade de libertate	Dispersii	Valoare criteriu F	Valoare criteriu P
A:Viteza Vc	,79206667	1	,7920667	10,41	,0483
B:Avansul fn	2,68001667	1	2,6800167	35,23	,0096
AB	,05290000	1	,0529000	,70	,4737
AA	,07475556	1	,0747556	,98	,4044
BB	3,08347222	1	3,0834722	40,53	,0078
Eroare totală:	,22821111	3	,0760704		
Dispersie totală: 6,91142222		8			

$$R^2 = 0,966981$$

$$R^2 \text{ (ajustat pt. nr. grade libertate)} = 0,911948$$

În cazul sculei DBN45 dacă se ține seama atât de valoarea critică a criteriului Fisher $F_{0.05;1;6}=10,13$ pentru pragul de semnificație $\alpha=0,05$ și numărul de grade de libertate $v_1=1$ și $v_2=3$, atunci pot fi considerate nesemnificative cu o siguranță a afirmației de 95% ($P=1-\alpha$) influențele interacțiunii AB și a termenului pătratic AA.

Din tabelele prezentate mai sus se observă că valoarea coeficientului R^2 este $R^2=0,9$ pentru scula CC670; $R^2=0,95$ pentru scula CC650; $R^2=0,94$ pentru scula CB7020 și $R^2=0,91$ pentru scula DBN45, deci o precizie de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv- RUGOZITATE de peste 90% în toate cazurile.

În tabelele 4.27, 4.28, 4.29 și 4.30 sunt prezentați coeficienții de regresie calculați cu programul STATGRAPHICS.

Tabel 4.27. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Rugozitate în cazul așchierii cu scula CC670

Coeficient	Valoare
Constant	0,75
A:Viteza	0,138333
B:Avansul	0,788333
AB	-0,0625
AA	0,225
BB	0,565

Tabel 4.28. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Rugozitate în cazul așchierii cu scula CC650

Coeficient	Valoare
Constant	1,35667
A:Viteza	0,436667
B:Avansul	0,97
AB	0,12
AA	0,08
BB	0,42

Tabel 4.29. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Rugozitate în cazul așchierii cu scula CB7020

Coeficient	Valoare
Constant	1,34222
A:Viteza	-0,355
B:Avansul	0,968333
AB	-0,305
AA	0,241667
BB	0,181667

Tabel 4.30. Coeficienții de regresie pentru funcția obiectiv-Rugozitate în cazul aşchierii cu scula DBN45

Coeficient	Valoare
Constant	0,905556
A:Viteza	0,363333
B:Avansul	0,668333
AB	-0,115
AA	-0,193333
BB	1,24167

Cunoscându-se coeficienții de regresie poate fi determinat modelul matematic pentru funcția obiectiv-Rugozitate R_a în funcție de factorii de influență viteza de aşchiere V_c și avansul de aşchiere f_n . Prin urmare se obțin următoarele relații matematice pentru funcția obiectiv-Rugozitate.

- Pentru scula CC670:

$$Y=0,75+0,138X_1+0,788X_2-0,062X_1X_2+0,225X_1^2+0,565X_2^2, \quad (4.12)$$

Deoarece pentru cazul materialului CC670 au fost considerate cu o siguranță a afirmației de 95% ca fiind ne semnificative influențele termenului liber A, a interacțiunii AB și a termenului pătratic AA, atunci modelul matematic va fi de forma:

$$Y=0,75+0,788X_2+0,565X_2^2, \quad (4.13)$$

- Pentru scula CC650:

$$Y=1,356+0,436X_1+0,97X_2+0,12X_1X_2+0,08X_1^2+0,42X_2^2,$$

În acest caz s-a considerat cu o siguranță a afirmației de 95% ($P=1-\alpha$) că influențele interacțiunii AB și ale termenilor pătratici AA și BB sunt ne semnificative conform tabelului 4.24. În această situație modelul matematic devine:

$$Y=1,356+0,436X_1+0,97X_2, \quad (4.14)$$

- Pentru scula CB7020:

$$Y=1,34-0,355X_1+0,968X_2-0,305X_1X_2+0,241X_1^2+0,181X_2^2,$$

Analizând tabelul 4.25 și valoarea critică a criteriului Fisher, în cazul sculei CB7020 s-a ajuns la concluzia că influențele interacțiunii AB și cele ale termenilor pătratici AA și BB sunt ne semnificative. Această afirmație prezintă o siguranță de 95%. Prin urmare modelul matematic în acest caz va fi:

$$Y=1,34-0,355X_1+0,968X_2, \quad (4.15)$$

- Pentru scula DBN45

$$Y = 0,905 + 0,363X_1 + 0,668X_2 - 0,115X_1X_2 - 0,193X_1^2 + 1,241X_2^2, \quad (4.16)$$

În cazul acestui material de sculă valoarea critică a criteriului Fisher a condus la concluzia că pot fi considerate ne semnificative cu o precizie a afirmației de 95% influențele interacțiunii AB și a factorului pătratic AA fapt ce concordă și cu histograma efectelor standardizate prezentată în figura 4.2.28. Ca urmare a acestui lucru modelul matematic are următoarea formă:

$$Y = 0,905 + 0,363X_1 + 0,668X_2 + 1,241X_2^2, \quad (4.17)$$

În tabelele 4.31, 4.32, 4.33 și 4.34 sunt prezentate efectele variabilelor independente V_c și f_n asupra funcției obiectiv- Rugozitate.

Tabel 4.31. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Rugozitate la așchiera cu scula CC670

Variabila independentă	Valoare efect	Abaterea standard
Constant	0,75	+/- 0,181884
A: Viteza de așchiere	0,276667	+/- 0,199244
B: Avansul de așchiere	1,57667	+/- 0,199244
AB	-0,125	+/- 0,244023
AA	0,45	+/- 0,345101
BB	1,13	+/- 0,345101

Tabel 4.32. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Rugozitate la așchiera cu scula CC650

Variabila independentă	Valoare efect	Abaterea standard
Constant	1,35667	+/- 0,152833
A: Viteza de așchiere	0,873333	+/- 0,167421
B: Avansul de așchiere	1,94	+/- 0,167421
AB	0,24	+/- 0,205047
AA	0,16	+/- 0,289981
BB	0,84	+/- 0,289981

Tabel 4.33. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Rugozitate la
așchiera cu scula CB7020

Variabila independentă	Valoare efect	Abaterea standard
Constant	1,34222	+/- 0,17059
A: Viteza de așchiere	-0,71	+/- 0,186872
B: Avansul de așchiere	1,93667	+/- 0,186872
AB	-0,61	+/- 0,22887
AA	0,483333	+/- 0,323671
BB	0,363333	+/- 0,323671

Tabel 4.34. Efectele variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Rugozitate la
așchiera cu scula DBN45

Variabila independentă	Valoare efect	Abaterea standard
Constant	0,905556	+/- 0,205576
A: Viteza de așchiere	0,726667	+/- 0,225197
B: Avansul de așchiere	1,33667	+/- 0,225197
AB	-0,23	+/- 0,275809
AA	-0,386667	+/- 0,390052
BB	2,48333	+/- 0,390052

Ca și în cazul funcției obiectiv-Durabilitate, valoarea efectului este egală cu dublul valorii coeficientului de regresie corespunzător cu o singură excepție și și anume efectul mediu global care este egal cu termenul liber al polinomului. Influența variabilelor independente asupra funcției obiectiv mai poate fi pusă în evidență cu ajutorul histogramelor efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv prezentate în figurile 4.45, 4.46, 4.47 și 4.48.

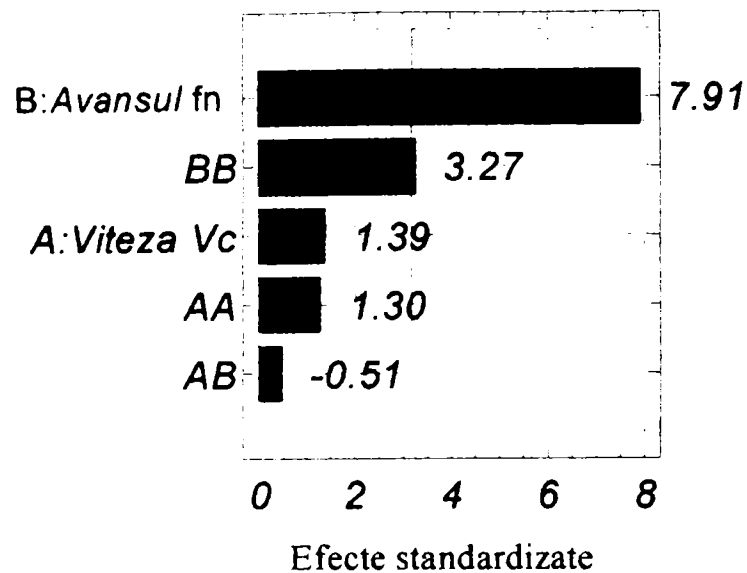


Figura 4.45. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv-
Rugozitate în cazul aşchierii cu sula CC670

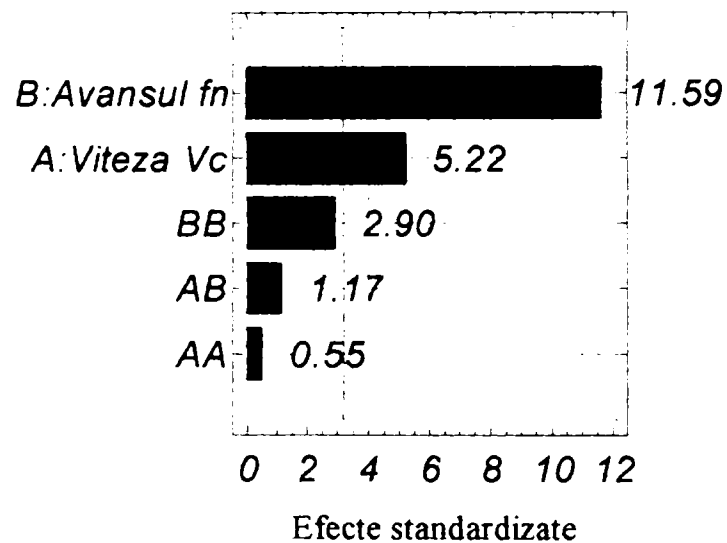


Figura 4.46. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv-
Rugozitate în cazul aşchierii cu sula CC650

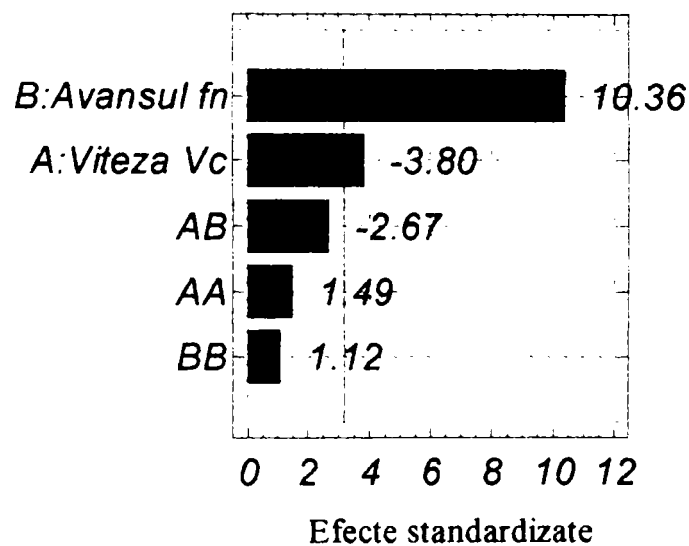


Figura 4.47. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv-
Rugozitate în cazul aşchierii cu sula CB7020

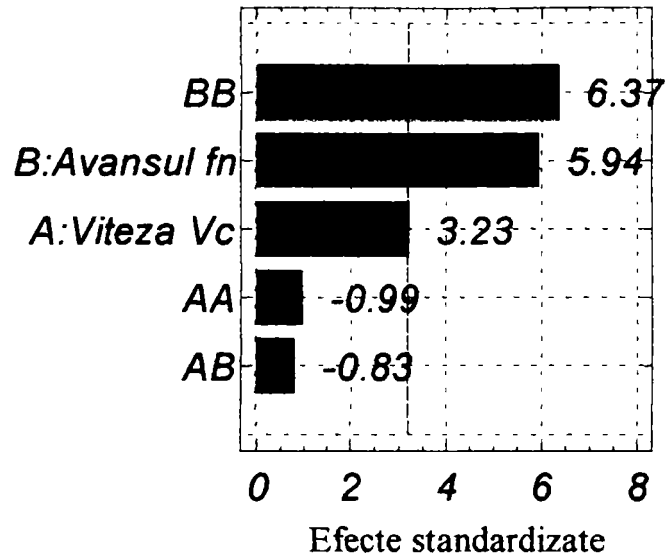


Figura 4.48. Histograma efectelor variabilelor independente asupra funcției obiectiv-Rugozitate în cazul așchierii cu scula DBN45

Din figurile prezentate mai sus reiese așa cum era de așteptat că factorul care influențează decisiv funcția obiectiv-Rugozitate este avansul de așchiere, influența acestuia depășind influența vitezei de așchiere. În cazul așchierii cu scula DBN45 se vede că influența termenului pătratic corespunzător avansului este cu puțin mai mare decât influența avansului.

În figurile 4.49, 4.50, 4.51 și 4.52 sunt prezentate suprafețele de răspuns pentru funcția obiectiv-Rugozitate în funcție de variabilele independente viteza de așchiere V_c și avansul de așchiere f_n determinate de asemenea utilizând programul STATGRAPHICS.

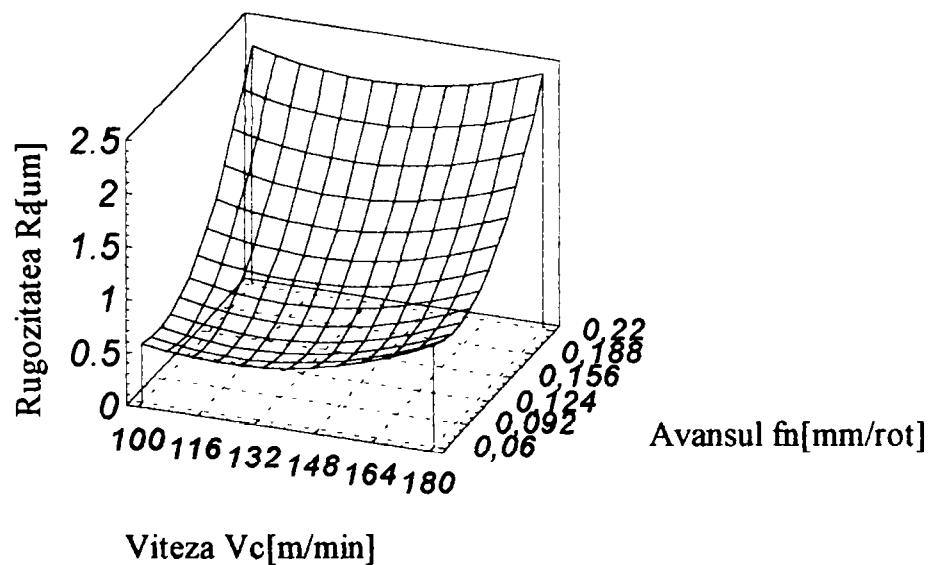


Figura 4.49. Influența vitezei de așchiere și a avansului asupra funcției obiectiv-Rugozitate la așchieria cu scula CC670

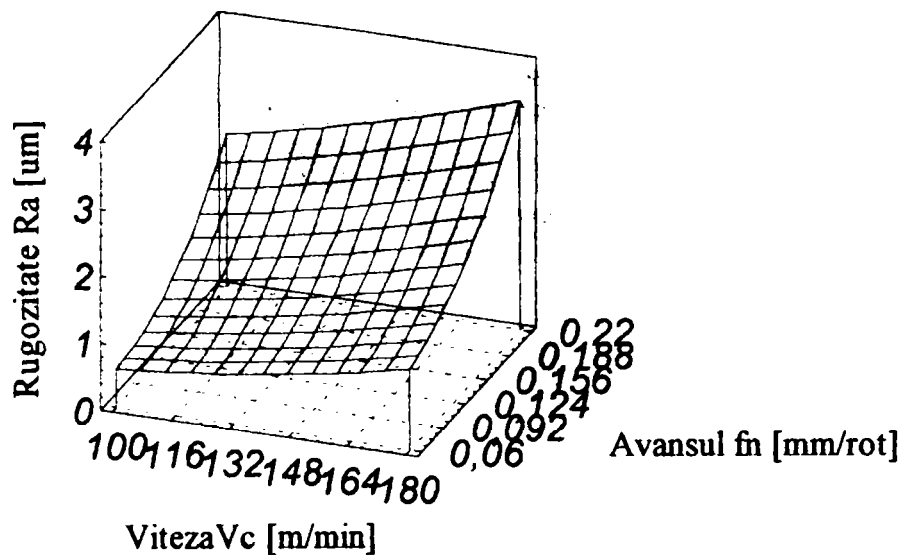


Figura 4.50. Influența vitezei de așchiere și a avansului asupra funcției obiectiv-
Rugozitate la așchiera cu scula CC650

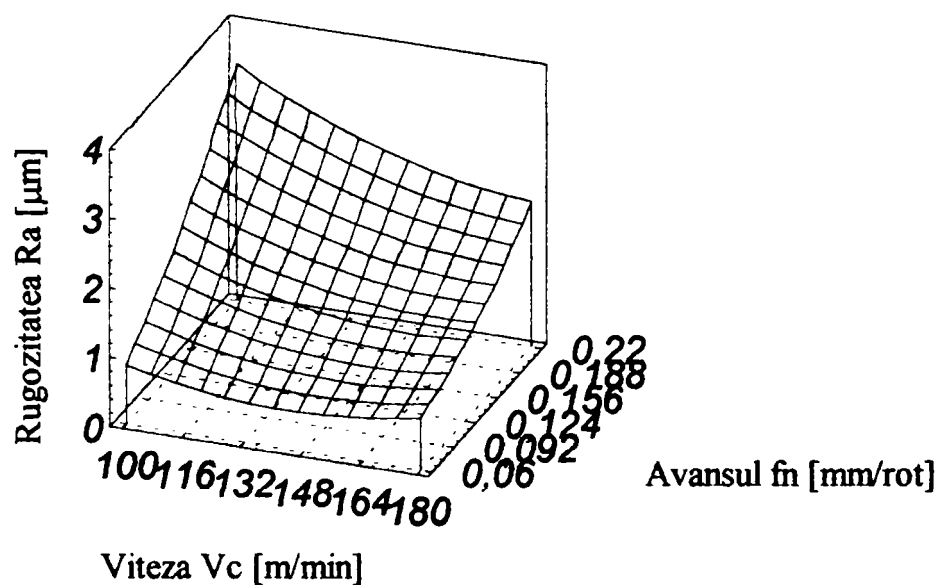


Figura 4.51. Influența vitezei de așchiere și a avansului asupra funcției obiectiv-
Rugozitate la așchiera cu scula CB7020

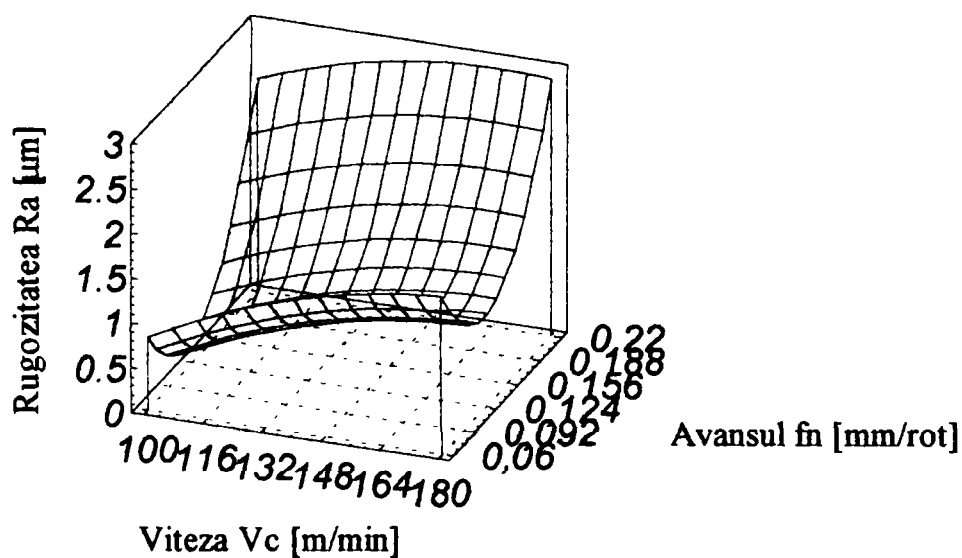


Figura 4.52. Influența vitezei de așchiere și a avansului asupra funcției obiectiv-
Rugozitate la așchiera cu scula DBN45

Toate suprafețele de răspuns au aproximativ aceeași alură din care reiese că influența avansului depășește net influența vitezei de așchiere asupra funcției obiectiv-Rugozitate, lucru care are loc indiferent de valoarea vitezei de așchiere. Odată cu creșterea avansului de așchiere se observă în toate cazurile creșterea rugozității suprafeței așchiate indiferent de materialul de sculă utilizat, iar acest lucru este valabil și pentru viteza de așchiere dar într-o măsură mai mică. Pentru a determina valorile unde se obține rugozitatea optimă (cea mai mică) se trasează curbele de nivel constant. În figurile 4.53, 4.54, 4.55 și 4.56 se prezintă curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Rugozitate în funcție de avansul și viteza de așchiere pentru toate cele patru tipuri de materiale de sculă folosite.

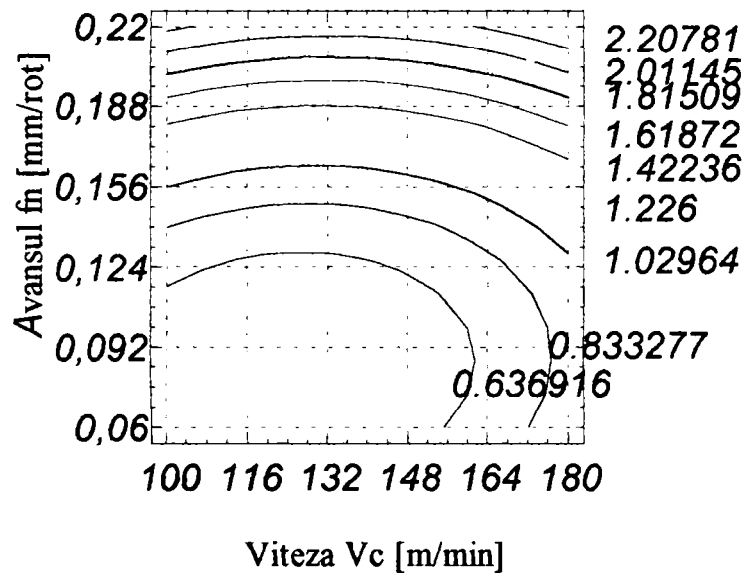


Figura 4.53. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC670

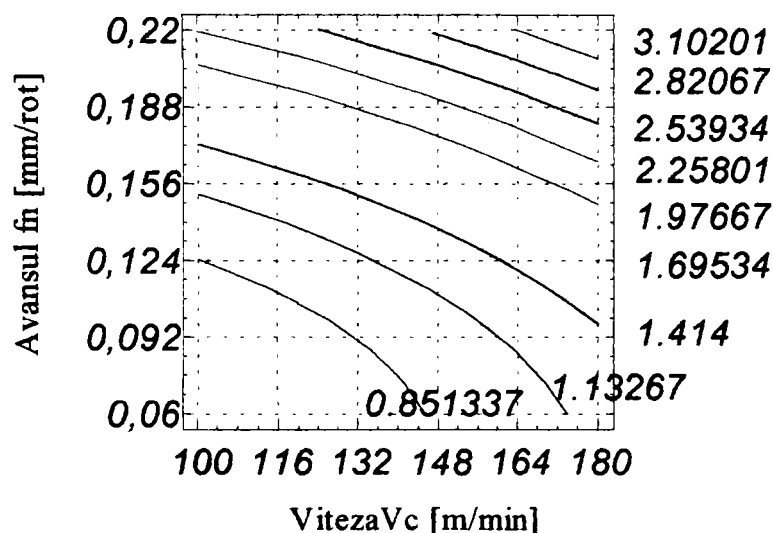


Figura 4.54. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC650

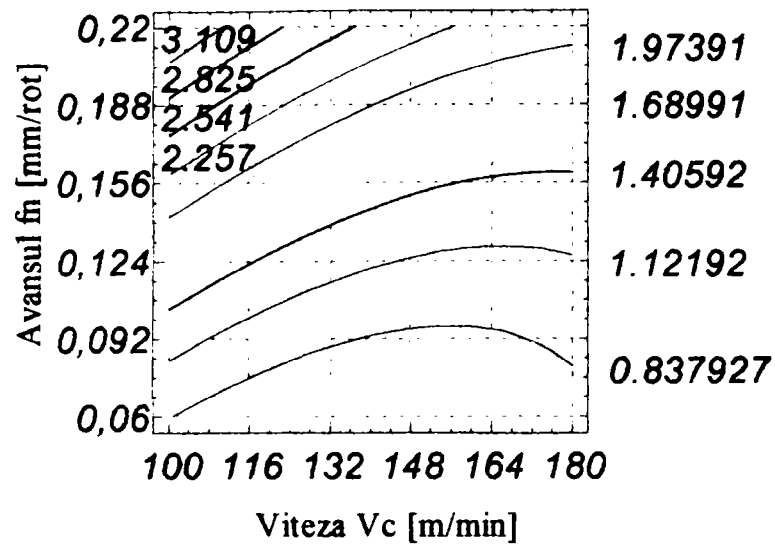


Figura 4.55. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CB7020

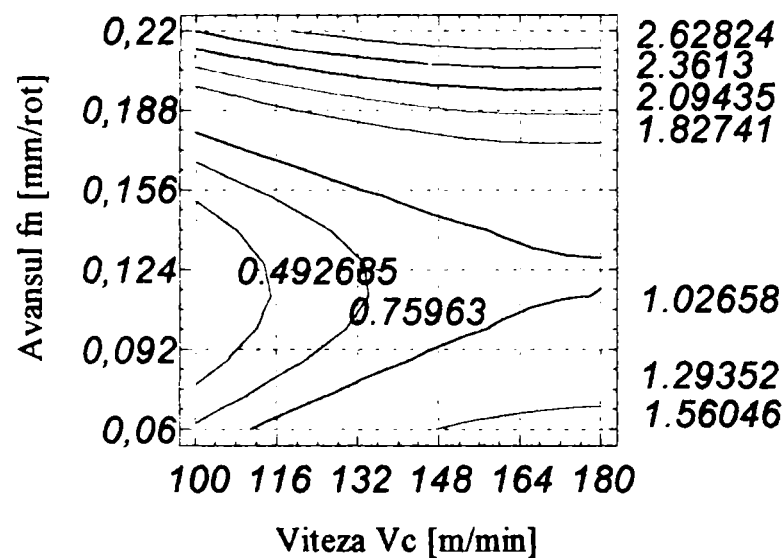


Figura 4.56. Curbele de nivel constant pentru funcția obiectiv-Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula DBN45

Din figurile 4.53 - 4.56 se observă că rugozitatea optimă obținută pentru scula CC670 a fost $Ra=0,63 \mu\text{m}$, pentru scula CC650 a fost $Ra=0,85 \mu\text{m}$, pentru CB7020 a fost $Ra=0,83 \mu\text{m}$, iar pentru scula DBN45 a fost $Ra=0,49 \mu\text{m}$. Deci plăcuța din nitrură cubică de bor DBN45 a realizat cea mai bună rugozitate $Ra=0,49 \mu\text{m}$.

Pentru scula CC670 rugozitatea optimă s-a obținut pentru următorul regim de așchiere:

- $V_c=100-148 \text{ m/min}$,
- $f_n=0,06-0,124 \text{ mm/rot}$,

Pentru scula CC650:

- $V_c=100-148 \text{ m/min}$,
- $f_n=0,06-0,124 \text{ mm/rot}$,

Pentru scula CB7020:

- $V_c=100-180$ m/min,
- $f_n=0,06-0,092$ mm/rot,

Pentru scula DBN45:

- $V_c=100-110$ m/min,
- $f_n=0,07-0,14$ mm/rot,

Se poate aprecia că rugozitatea maximă se atinge pentru aceeași gamă de viteze și avansuri de așchiere cu specificația că rugozitatea obținută cu scula CC670 este mai bună decât cea obținută cu scula CC650. În ceea ce privește scula din CB7020 se observă că viteza de așchiere aproape că nu influențează sau influențează foarte puțin rugozitatea suprafeței așchiate, lucru care este confirmat și de alura suprafeței de răspuns din figura 4.51. Cu alte cuvinte pentru întreaga gamă de viteze $V_c=100-180$ m/min și cu avansul f_n variind între 0,06-0,092 mm/rot se obține rugozitatea optimă $R_a=0,83$ μm , valoare foarte apropiată de cea obținută cu scula CC650. Un comportament diferit prezintă cealaltă sculă din NCBP și anume DBN45 în cazul căreia rugozitatea optimă se obține pentru o gamă de viteze restrânsă și de valori mici $V_c=100-110$ m/min, dar cu avansuri mergând până la 0,14 mm/rot. De subliniat că utilizând această plăcuță s-au obținut cea mai scăzută rugozitate a suprafeței așchiate $R_a=0,49$ μm . Luând în considerare și regimurile de așchiere pentru care s-au obținut Durabilități maxime pentru fiecare material de sculă se poate determina un regim de așchiere optim pentru fiecare sculă așchietoare împarte.

Pentru scula CC670

$T_{opt.}=36$ min cu:

$R_{a_{opt.}}=0,63$ μm

$V_c=100-116$ m/min,

$V_c=100-148$ m/min,

$f_n=0,06-0,092$ mm/rot

$f_n=0,06-0,124$ mm/rot

Făcând o intersecție a acestor plaje de valori rezultă regimul de așchiere care asigură Durabilitatea sculei și Rugozitatea suprafeței așchiate optime la așchierarea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC670:

$V_{c_{opt.}}=100-116$ m/min,

$f_{n_{opt.}}=0,06-0,92$ mm/rot.

Pentru scula CC650:

$T_{opt}=136$ min cu: $Ra_{opt}=0,85$ μm
 $V_c=100-116$ m/min, $V_c=100-148$ m/min,
 $f_n=0,06-0,092$ mm/rot $f_n=0,06-0,124$ mm/rot, rezultă regimul de

așchiere optim: $V_{c_{opt}}=100-116$ m/min,
 $f_{n_{opt}}=0,06-0,92$ mm/rot.

Pentru scula CB7020:

$T_{opt}=169,88$ min cu: $Ra_{opt}=0,83$ μm
 $V_c=100-120$ m/min, $V_c=100-180$ m/min,
 $f_n=0,06-0,092$ mm/rot $f_n=0,06-0,092$ mm/rot, rezultă regimul de

așchiere optim: $V_{c_{opt}}=100-120$ m/min,
 $f_{n_{opt}}=0,06-0,092$ mm/rot.

Pentru scula DBN45:

$T_{opt}=160,38$ min cu: $Ra_{opt}=0,49$ μm
 $V_c=100-110$ m/min, $V_c=100-110$ m/min,
 $f_n=0,06-0,08$ mm/rot $f_n=0,07-0,14$ mm/rot, rezultă regimul de

așchiere optim: $V_{c_{opt}}=100-110$ m/min,
 $f_{n_{opt}}=0,07-0,08$ mm/rot.

În figurile 4.57, 4.58, 4.59 și 4.60 este prezentată concordanța dintre valorile estimate cu ajutorul modelului matematic propus și valorile observate în timpul experimentelor, adică precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-
 Rugozitate.

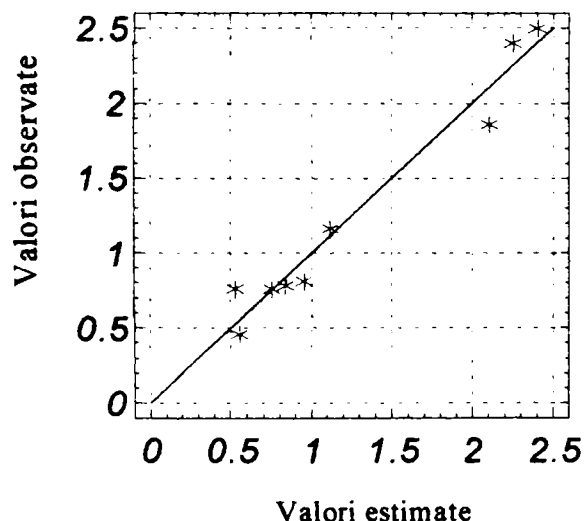


Figura 4.57. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-
 Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC670

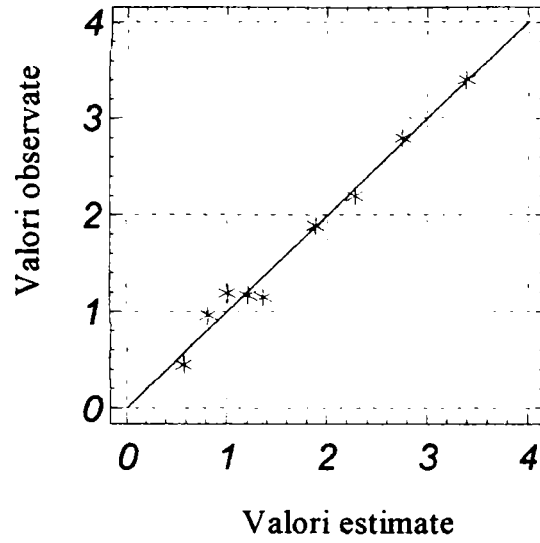


Figura 4.58. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-
Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC650

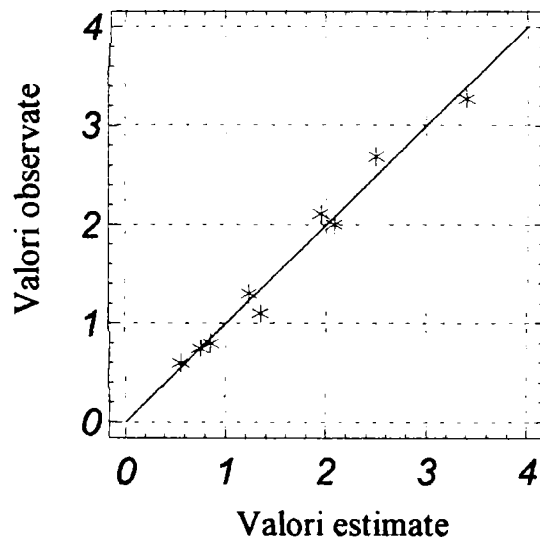


Figura 4.59. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-
Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CB7020

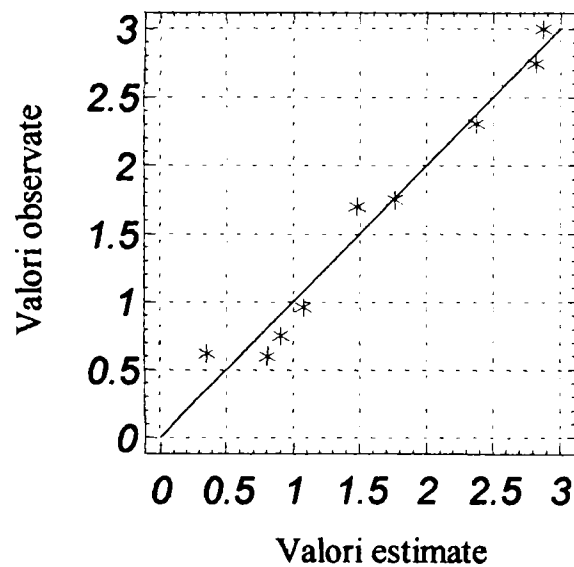
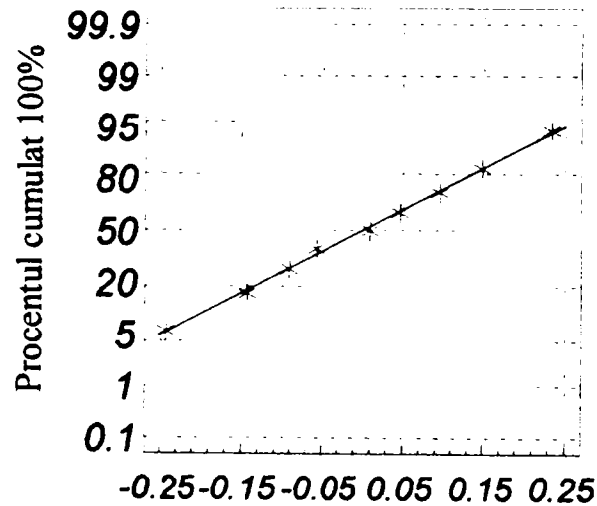


Figura 4.60. Precizia de estimare a modelului matematic pentru funcția obiectiv-
Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula DBN45

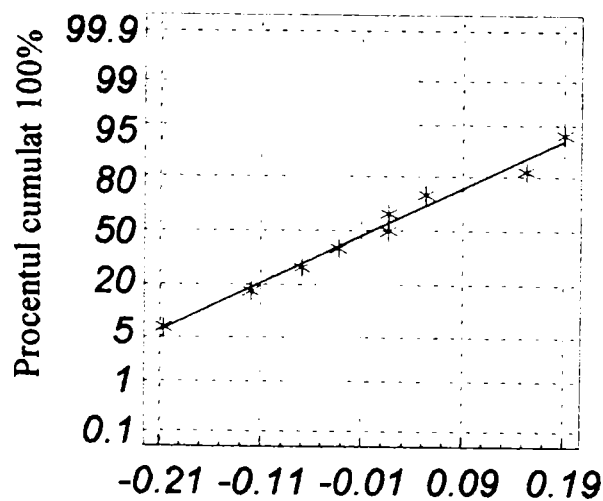
Din cele patru figuri prezentate anterior se observă o bună concordanță între valorile estimate cu ajutorul modelului matematic adoptat și valorile observate în realitate, pentru fiecare material de sculă folosit. Acest lucru a fost confirmat și de coeficienții R^2 rezultați în urma analizei dispersionale pentru cazul utilizării fiecărui material de sculă împarte.

În figurile 4.61, 4.62, 4.63 și 4.64 este prezentată probabilitatea normală a reziduurilor și se poate vedea că acestea au o repartiție care ne confirmă încă odată corectitudinea modelului matematic ales.



Reziduuri pentru funcția RUGOZITATE

Figura 4.61. Probabilitatea normală pentru funcția obiectiv-Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC670



Reziduuri pentru funcția RUGOZITATE

Figura 4.62. Probabilitatea normală pentru funcția obiectiv-Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC650

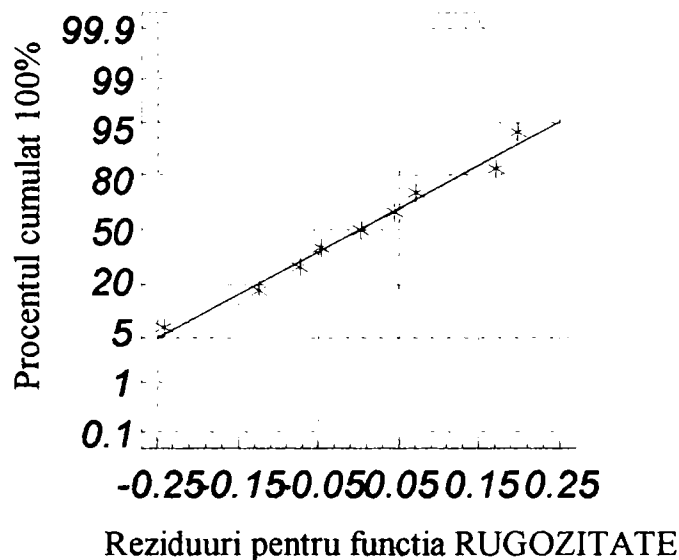


Figura 4.63. Probabilitatea normală pentru funcția obiectiv-Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CB7020

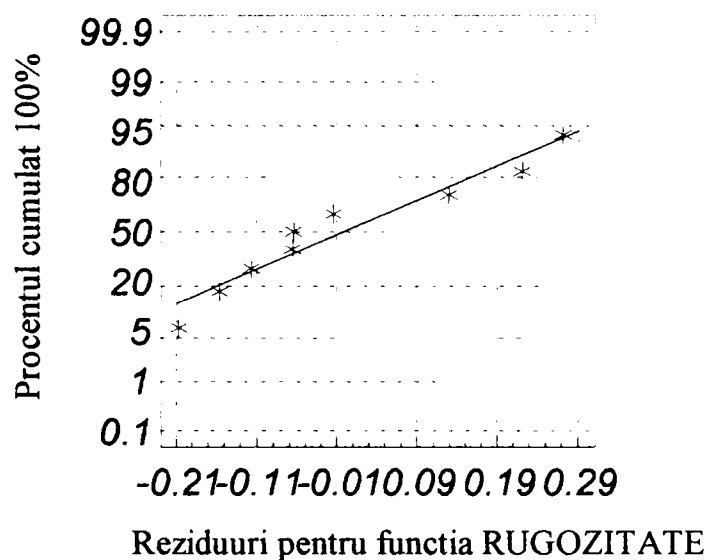


Figura 4.64. Probabilitatea normală pentru funcția obiectiv-Rugozitate la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula DBN45

Reprezentarea reziduurilor în funcție de ordinea de efectuare a încercărilor este prezentată în figurile 4.65, 4.66, 4.67 și 4.68, rezultând o distribuție aleatoare a reziduurilor ceea ce este un argument în plus în favoarea adecvantei și corectitudinii modelului ales, micșorând la minimum riscul apariției erorilor sistematice.

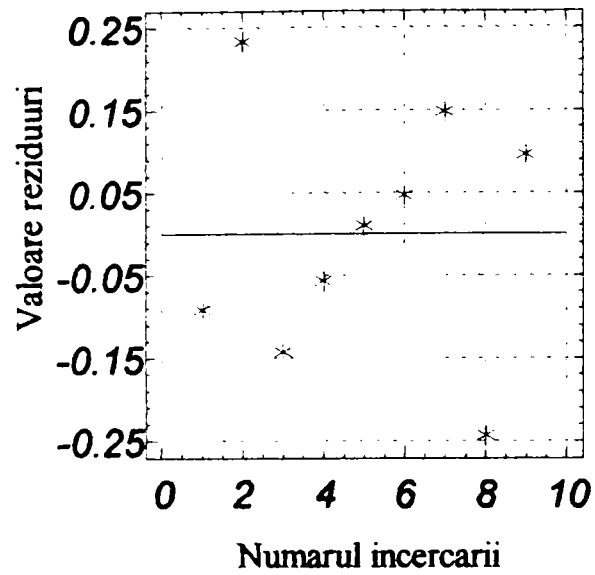


Figura 4.65. Distribuția reziduurilor funcției obiectiv-Rugozitate în funcție de numărul testului la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC670

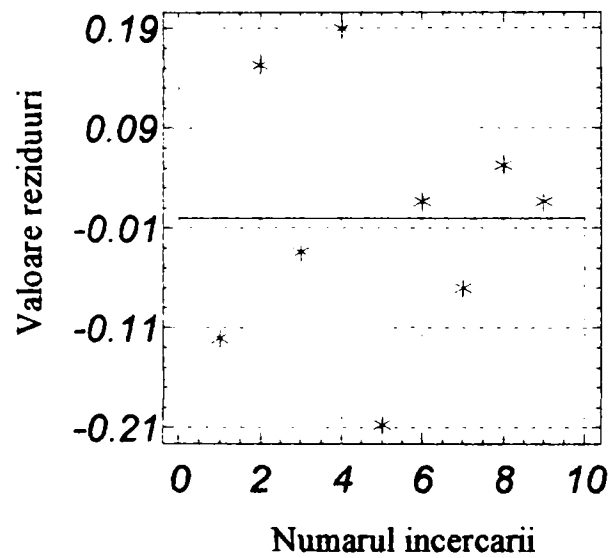


Figura 4.66. Distribuția reziduurilor funcției obiectiv-Rugozitate în funcție de numărul testului la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CC650

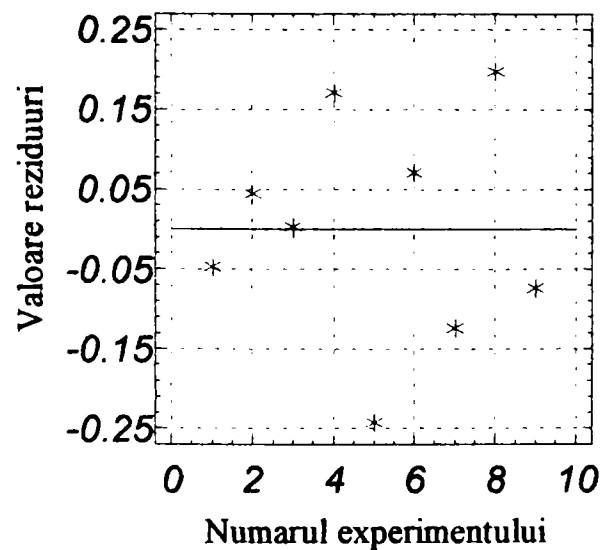


Figura 4.67. Distribuția reziduurilor funcției obiectiv-Rugozitate în funcție de numărul testului la așchiera oțelului 100Cr6 cu scula CB7020

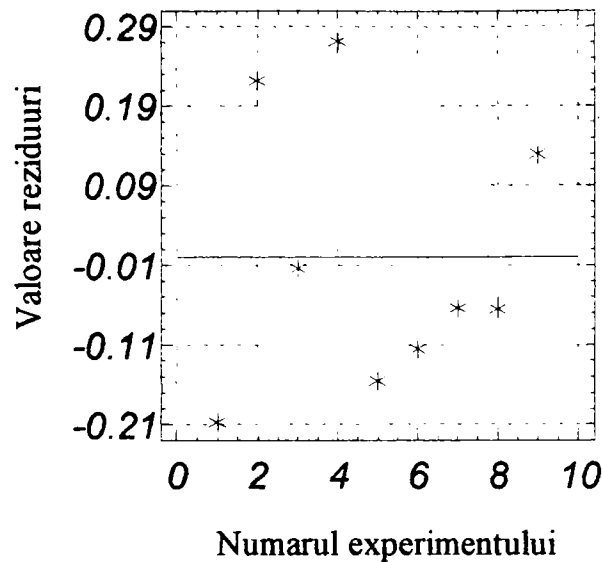


Figura 4.68. Distribuția reziduurilor funcției obiectiv-Rugozitate în funcție de numărul testului la aşchiera oțelului 100Cr6 cu scula DBN45

Concluzii

Prin prisma rezultatelor înregistrate se pot trage următoarele concluzii:

- Ca și în cazul primului set de experimente și în această situație este evident faptul că valoarea maximă pentru funcția obiectiv DURABILITATE este atinsă pentru valorile minime ale vitezei și avansului de aşchiere.
- În ceea ce privește materialul sculei s-a observat că scula CB7020 s-a dovedit a fi cea mai performantă cu o durabilitate $T=169$ min, urmată de o altă sculă din nitrură cubică de bor policristalină, DBN45 cu durabilitatea $T=160$ min. Dintre sculele ceramice CC650 s-a dovedit a fi superioară din punct de vedere al durabilității, sculei CC670 prezentând o durabilitate $T=136$ min față de numai $T=36$ min pentru scula CC670.
- Referitor la funcția obiectiv RUGOZITATE, s-a evidențiat faptul că avansul de aşchiere are o influență covârșitoare asupra acestei funcții obiectiv, care depășește influența vitezei de aşchiere. Odată cu creșterea valorii avansului de aşchiere s-a observat că indiferent de materialul sculei utilizate, are loc o creștere a rugozității R_a a suprafeței aşchiate.
- Cea mai bună rugozitate a suprafeței aşchiate s-a înregistrat cu scula DBN45, ($R_a=0,49 \mu\text{m}$) urmată de scula CC650 ($R_a=0,63 \mu\text{m}$). Suprafețele aşchiate cu sculele CC650 și CB7020 au prezentat practic aceeași valoare a rugozității R_a ($R_a=0,83 \mu\text{m}$ pentru CB7020 și $R_a=0,85 \mu\text{m}$, pentru CC650)

- Regimul de așchiere care asigură obținerea optimului atât pentru funcția obiectiv DURABILITATE cât și pentru funcția obiectiv RUGOZITATE pentru toate cele patru materiale de sculă utilizate este :

$$V_{c_{opt}} = 100-120 \text{ m/min,}$$

$$f_{n_{opt}} = 0,06-0,092 \text{ mm/rot.}$$

$$a_{p_{opt}} = 0,25 \text{ mm}$$

4.3. Cercetări privind uzura și durabilitatea sculelor așchietoare în funcție de parametrii regimului de așchiere și de materialul sculei așchietoare la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC

Cercetările privind uzura sculei așchietoare au fost efectuate în două etape. În prima etapă s-au analizat formele uzurii în cazul așchierii oțelului 100Cr6 având duritatea 60-62 HRC, cu plăcuțe pătrate din CC650 cu geometria SNGN 120408T01020 (Anexa 3), cu diferite regimuri de așchiere, variind pe rând câte unul din parametrii regimului de așchiere la valorile extreme utilizate în programul experimental central-compus cu 16 încercări, realizat în cadrul primului experiment.

În cea de-a doua etapă s-au analizat formele uzurii la așchiera cu plăcuțe CC670, CC650, CB7020 și DBN45, toate având aceeași geometrie: TNGN 160408T01020 (Anexa 3). A fost de asemenea analizată variația durabilității cu uzura V_B pentru diferite regimuri de așchiere și pentru fiecare material de sculă împarte, observându-se în acest fel care material de sculă realizează cele mai bune performanțe. În figurile 4.69-4.72 sunt prezentate tipurile de uzură ce apar la așchiera oțelului călit 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 cu geometria SNGN 120408T01020.

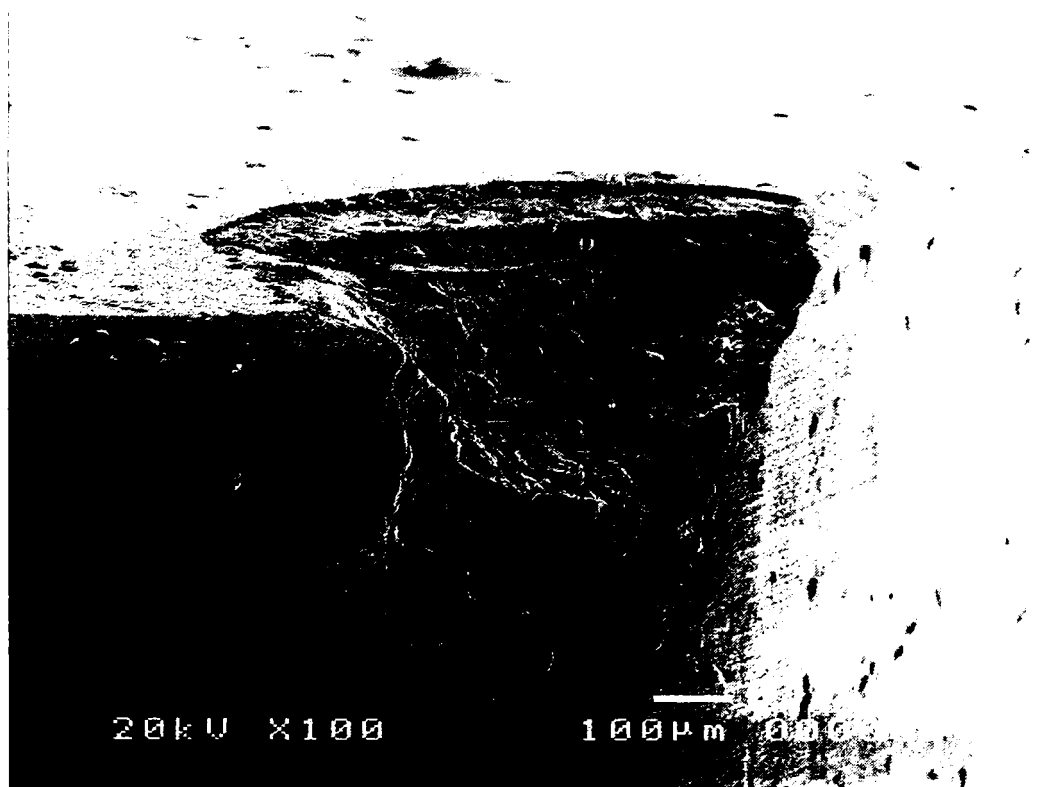


Figura 4.69. Uzura plăcuței din ceramică mixtă CC650 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=70\text{m/min}$, $f_n=0,15\text{ mm/rot}$, $a_p=0,25\text{mm}$, $V_B=0,5\text{mm}$, mărire $\times 100$, durabilitatea $T=47,46\text{ min}$

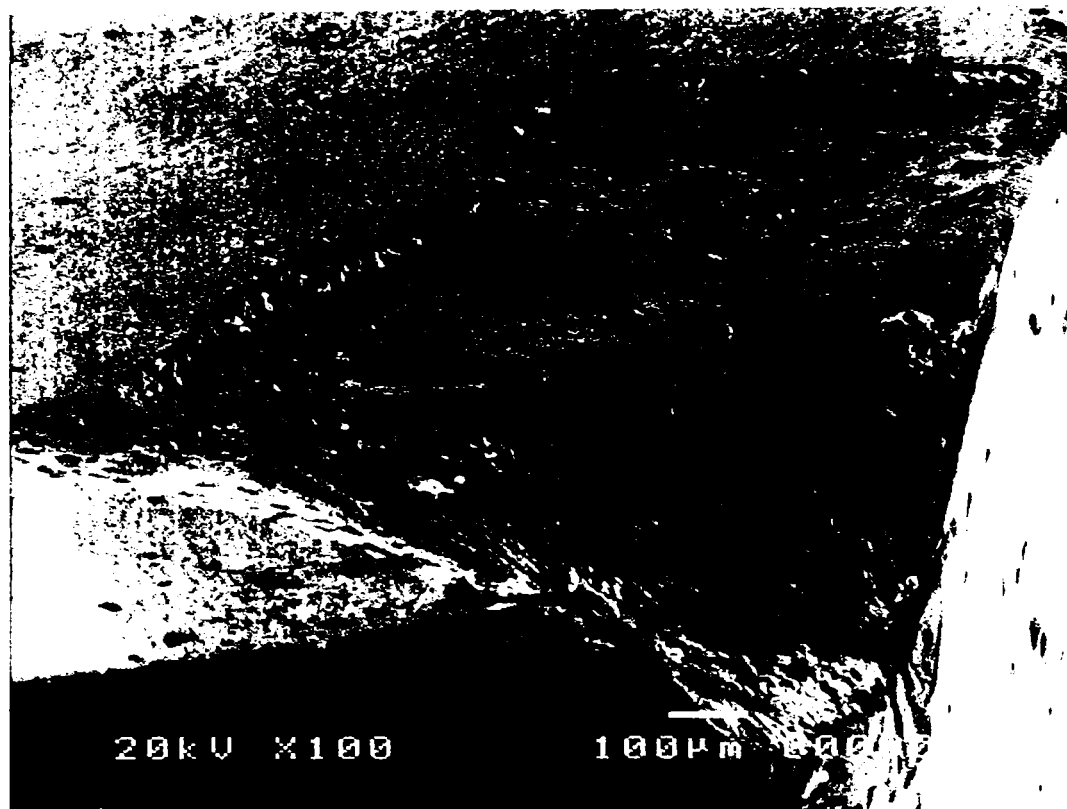


Figura 4.70. Uzura plăcuței din ceramică mixtă CC650 la așchieria oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=210\text{m/min}$, $f_n=0,15\text{ mm/rot}$, $a_p=0,25\text{mm}$, $V_B=0,3\text{mm}$, mărire $\times 100$, durabilitatea $T=0,52\text{ min}$

În figurile 4.69 și 4.70 este prezentat tipul de uzură ce apare la plăcuțele ceramice CC650 cu geometria SNGN 120408T01020 atunci când se produce o creștere a vitezei de așchiere de la 70 la 210 m/min. Pe lângă faptul că durabilitatea sculei este mai mare atunci când se lucrează cu viteza de 70 m/min, față de o viteză de 210 m/min, se observă că la viteze mici de așchiere uzura s-a produs inițial în zona fațetei și avea o formă regulată după care la un moment dat s-a produs fracturarea plăcuței rezultând o smulgere de material pe fața de așezare. De asemenea pe fața de degajare se observă exfolierea a mai multor straturi până la obținerea craterului de uzură și distrugerea muchiei așchietoare. În cazul utilizării vitezei de 210 m/min se vede că fracturarea plăcuței a avut loc foarte repede după cca. 0,52 min și la fel se poate observa pe fața de degajare tendința de exfoliere în straturi succesive a materialului sculei. Se pot vedea în craterul de uzură și urme de metal topit, datorat probabil temperaturii ridicate generate în procesul de așchiere.

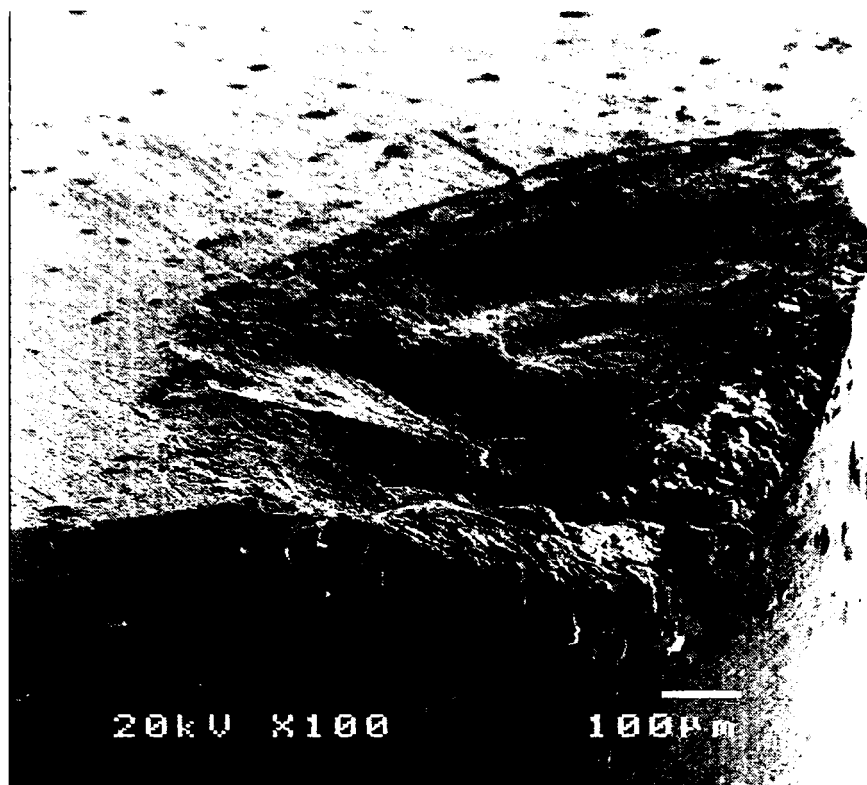


Figura 4.71. Uzura plăcuței din ceramică mixtă CC650 la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de aşchiere: $V_c=140\text{m/min}$, $f_n= 0,02\text{mm/rot}$, $a_p=0,25\text{mm}$, $V_B=0,2\text{mm}$, mărire $\times 100$, durabilitatea $T=65,12\text{ min}$

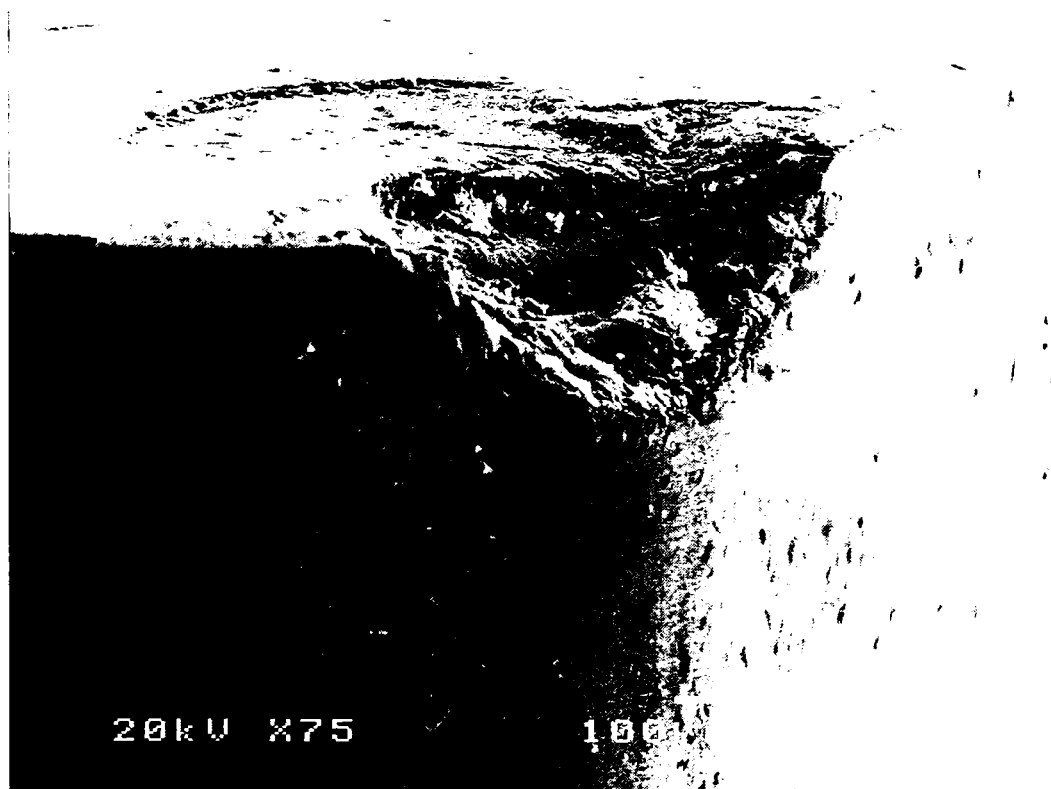


Figura 4.72. Uzura plăcuței din ceramică mixtă CC650 la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de aşchiere: $V_c=140\text{m/min}$, $f_n= 0,28\text{ mm/rot}$, $a_p= 0,25\text{mm}$, $V_B=0,9\text{ mm}$, mărire $\times 75$, durabilitatea $T=0,18\text{ min}$

În figurile 4.71 și 4.72. este prezentată uzura aceluiași tip de plăcuță așchietoare, când s-a lucrat cu viteză și adâncime de așchiere constante și s-a variat avansul de așchiere de la valoarea 0,02mm/rot la 0,28 mm/rot. În cazul în care s-a lucrat cu avans de așchiere $f_n=0,02$ mm/rot. durabilitatea sculei așchietoare a fost $T=65,12$ min, până la atingerea $V_B=0,2$ mm. în timp ce durabilitatea sculei așchietoare pentru cazul folosirii unui avans de așchiere de 0,28 mm/rot a fost de numai 0,18 min, dar până la atingerea unei uzuri pe fața de așezare $V_B=0,9$ mm.

Atât în cazul utilizării avansurilor mici de așchiere cât și în cazul utilizării a valorilor mai mari pentru avansul de așchiere, există aceeași tendință de uzură pe fața de degajare prin exfoliere de straturi succesive. Dacă în cazul folosirii avansurilor mici uzura pe fața de așezare are o formă relativ regulată, în cazul utilizării unor valori mai mari pentru avansul de așchiere cum este cazul avansului $f_n=0,28$ mm/rot, pe fața de așezare se produc smulgeri de material datorită fragilității ridicate a acestui tip de sculă și a condițiilor de așchiere improprie.

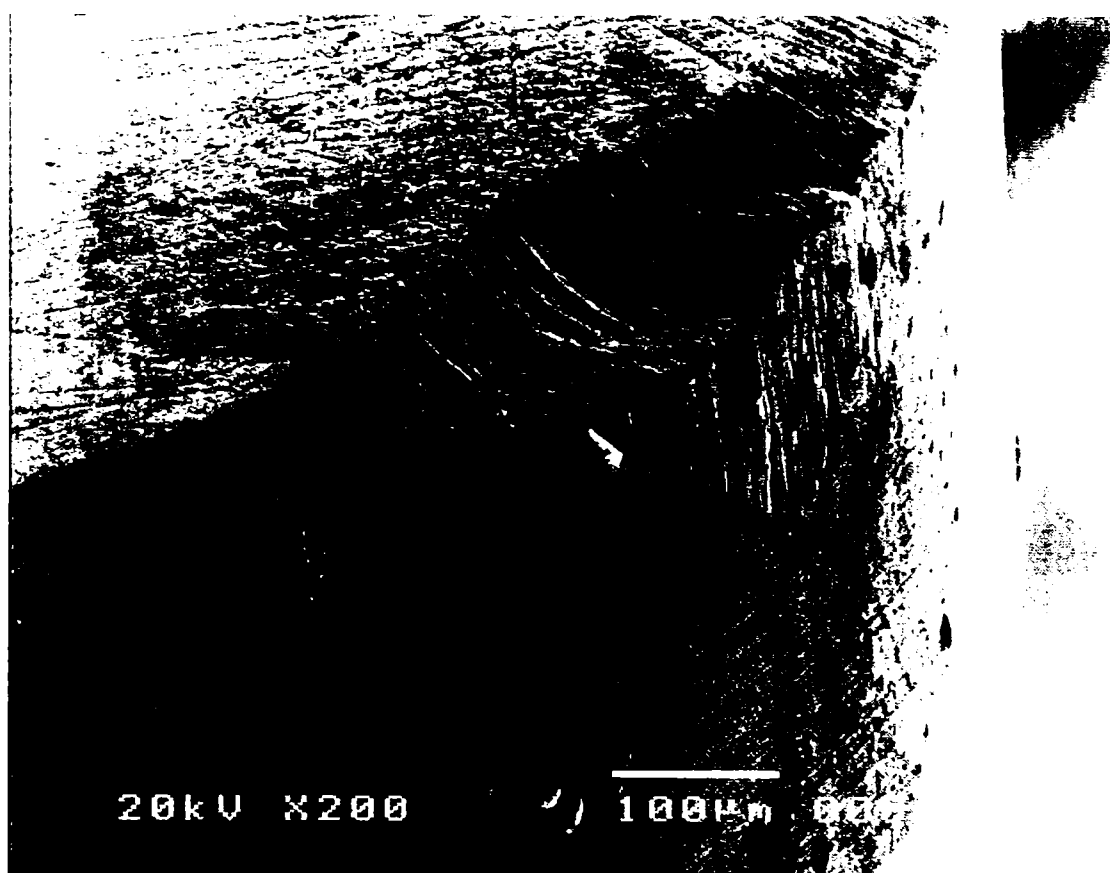


Figura 4.73.Uzura plăcuței din ceramică mixtă CC650 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n= 0,15$ mm/rot, $a_p=0,1$ mm, $V_B=0,2$ mm, mărire x 200, durabilitatea $T= 46,44$ min

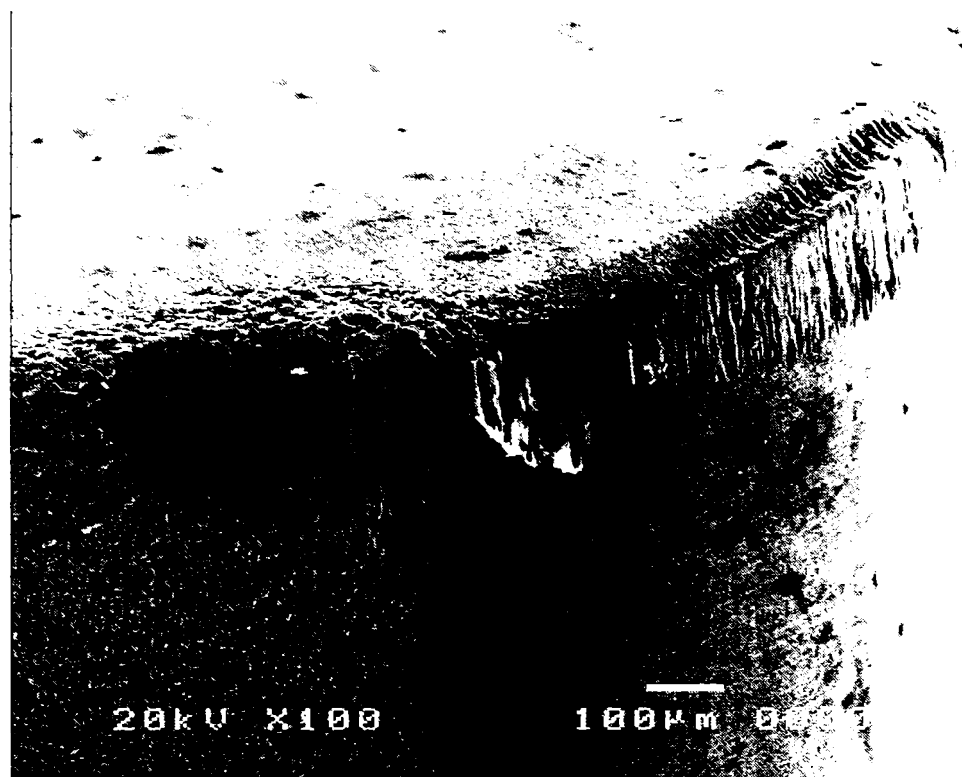


Figura 4.74. Uzura plăcuței din ceramică mixtă CC650 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=140\text{m/min}$, $f_n=0,15\text{mm/rot}$, $a_p=0,41\text{mm}$, $V_B=0,2\text{mm}$, mărire $\times 100$, durabilitatea $T=2,70\text{ min}$

În figurile 4.73 și 4.74 sunt prezentate tipurile de uzură ce apar atunci când se lucrează cu viteze $V_c=140\text{ m/min}$ și avanuri $f_n=0,15\text{ mm/rot}$ și se variază adâncimea de așchiere de la $a_p=0,1\text{mm}$ la $a_p=0,41\text{mm}$. În aceste cazuri este o diferență notabilă între durabilitatea în cazul utilizării unei adâncimi de așchiere de $0,1\text{ mm}$ față de cazul utilizării unei adâncimi de așchiere de $0,41\text{ mm}$. Cu toate acestea uzura atât pe fața de așezare cât și pe fața de degajare are o formă regulată și apare numai în zona fațetei plăcuței. Se pot observa șanțurile de uzură ce apar pe fața de așezare și care ne conduc la concluzia că principala formă de uzură este cea de abraziune. Craterul de uzură în ambele cazuri este de dimensiuni reduse, aproximativ cât lățimea fațetei de pe fața de degajare și se produce în imediata apropiere a muchiei așchietoare. Acest lucru permite, chiar în cazul utilizării unei adâncimi de așchiere de $0,41\text{ mm}$, să se obțină o rugozitate bună $R_a=0,72\text{ }\mu\text{m}$ conform tabelului 3.2.

În figurile 4.75, 4.76 și 4.77 este prezentată variația durabilității sculei în funcție de uzura pe fața de așezare V_B , atunci când se variază câte un parametru al regimului de așchiere folosit, păstrându-se ceilalți doi parametrii constanți la valorile corespunzătoare coordonatelor codificate ale punctului central ($V_c=140\text{ m/min}$, $f_n=0,15\text{ mm/rot}$ și $a_p=0,25\text{mm}$) – vezi Anexa 4.

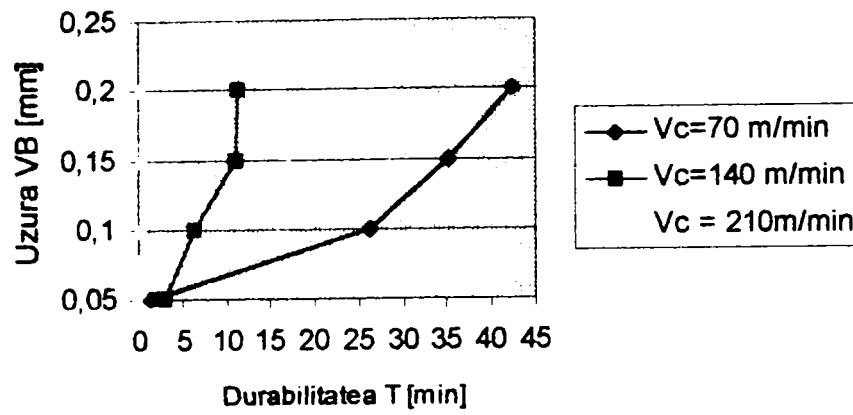


Figura 4.75. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere cu $f_n=0,15$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650

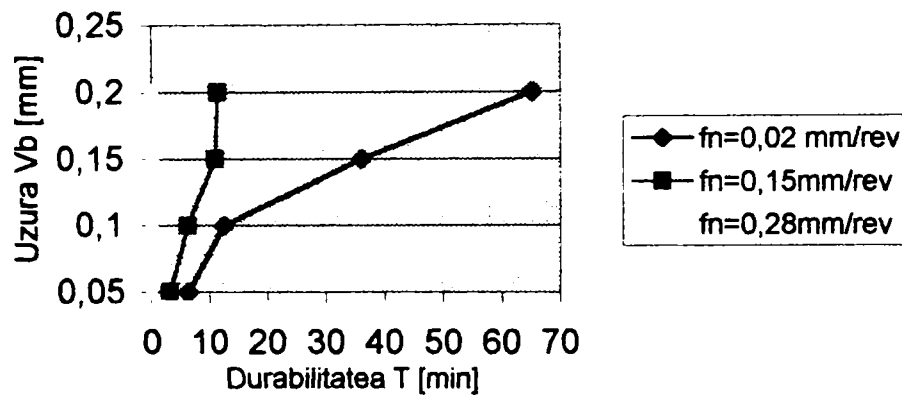


Figura 4.76. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere cu V_c=140 m/min, $a_p=0,25$ mm, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650

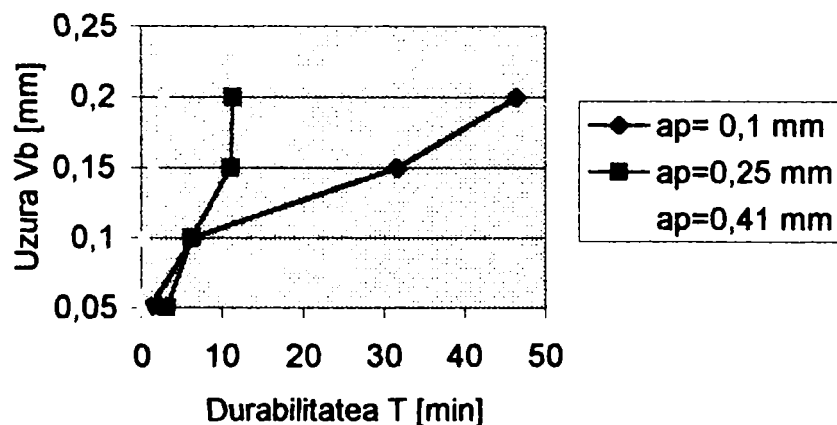


Figura 4.77. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite adâncimi de așchiere cu V_c=140 m/min, $f_n=0,15$ mm/rot, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650

Pentru toate cazurile s-a ales drept criteriu de uzură $V_B=0,2$ mm în conformitate cu recomandările din literatura de specialitate. Din figura 4.75 se observă că cea mai bună durabilitate T se obține atunci când se utilizează $V_c=70$ m/min, $T=42,46$ min, iar cea mai scăzută durabilitatea este atinsă atunci când se utilizează viteza $V_c=210$ m/min unde durabilitatea T este sub un minut. În cazul utilizării vitezei $V_c=70$ m/min se observă o uzură lentă până la atingerea valorii $V_B=0,1$ mm după care are loc o creștere ceva mai rapidă a uzurii.

În figura 4.76 se observă că cea mai bună durabilitate până la atingerea criteriului de uzură $V_B=0,2$ mm se obține în cazul folosirii avansurilor mici $f_n=0,02$ mm/rot când durabilitatea atinge valoarea $T=65,12$ min pentru $V_B=0,2$ mm. La polul opus se află cazul utilizării avansului $f_n=0,28$ mm/rot, când durabilitatea are valoarea $T=0,14$ min pentru $V_B=0,2$ mm. Analizând variația uzurii în timp pentru cazul $f_n=0,02$ mm/rot se observă o creștere mai rapidă a uzurii până la atingerea valorii $V_B=0,1$ mm după care are loc o creștere progresivă aproape liniară a uzurii până la atingerea valorii $V_B=0,2$ mm.

Analizând figura 4.77 se poate vedea că și în acest caz valoarea maximă a durabilității până la atingerea criteriului de uzură stabilit $V_B=0,2$ mm, se obține pentru adâncimi mici de așchiere $a_p=0,1$ mm, $T=46,44$ min spre deosebire de cazul utilizării $a_p=0,41$ mm, atunci când valoarea durabilității devine $T=2,70$ min pentru $V_B=0,2$ mm. Un aspect demn de menționat este acela că în cazul utilizării unei adâncimi de așchiere $a_p=0,25$ mm ca și în cazul utilizării unei adâncimi $a_p=0,1$ mm, durabilitatea T până la atingerea uzurii $V_B=0,1$ mm este aproximativ aceeași, diferența apărând după acest prag, când uzura $V_B=0,2$ mm se atinge pentru cazul când $a_p=0,1$ mm în 46,44 min, iar pentru $a_p=0,25$ mm în 11,37 min. În figurile 4.78, 4.79 și 4.80 este prezentată variația durabilității T în funcție de fiecare parametru al regimului de așchiere.

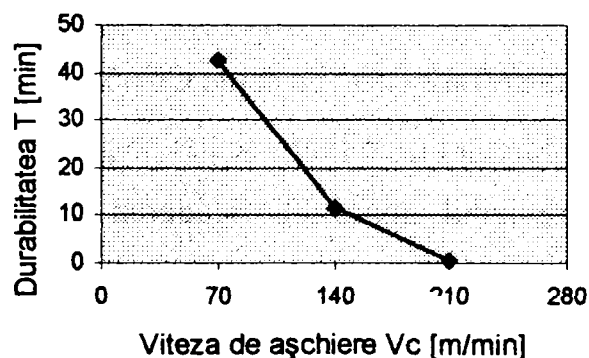


Figura 4.78. Variația durabilității cu viteza de așchiere la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650

În acest caz se observă clar scăderea durabilității sculei odată cu creșterea vitezei de așchiere. Acest aspect este mai pregnant pe palierul de viteze de la 70-140 m/min, decât de la 140-210 m/min.

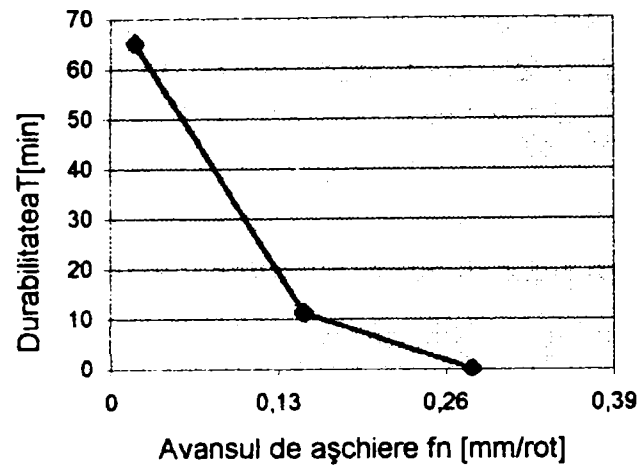


Figura 4.79. Variația durabilității cu avansul de așchiere la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650

Din figura 4.79 se vede că durabilitatea sculei și avansul de așchiere sunt invers proporționale, creșterea avansului de la 0,02 la 0,14 mm/rot ducând la o scădere drastică a durabilității.

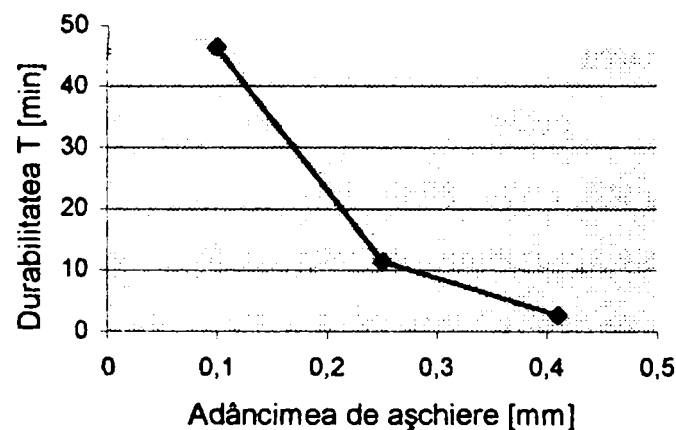


Figura 4.80. Variația durabilității cu adâncimea de așchiere la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650

În acest este evident că scăderea durabilității sculei se produce odată cu creșterea adâncimii de așchiere, lucru previzibil de altfel. Scăderea durabilității T este mai pronunțată la creșterea adâncimii de așchiere de la valoarea $a_p=0,1$ mm la $a_p=0,25$ mm decât la creșterea adâncimii de așchiere pe palierul 0,25-0,41 mm. Se poate deci concluziona că durabilitatea sculei este invers proporțională cu toți parametrii regimului

de aşchiere la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC utilizând o sculă ceramică CC650.

În cea de-a doua etapă a cercetării fenomenului de uzură și durabilitate a sculei s-au studiat formele de uzură ce apar la patru materiale de sculă, două ceramice (CC670, CC650) și două scule din nitrură cubică de bor policristalină (CB7020 și DBN45) având aceeași geometrie TNGN 160408T010120 (Anexa 1) și utilizând următoarele regimuri de aşchiere:

1. $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
2. $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
3. $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

De asemenea a fost studiată variația durabilității sculei în funcție de uzura pe fața de aşezare V_B considerându-se ca și criteriu limită uzura $V_B=0,2$ mm pentru diferite regimuri de aşchiere. În figurile următoare 4.81 - 4.82 sunt prezentate o serie de fotografii realizate la microscopul electronic cu diferite mărimi cu privire la uzura plăcuțelor CC670, CC650, CB7020, și DBN45 utilizate la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de aşchiere $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm.

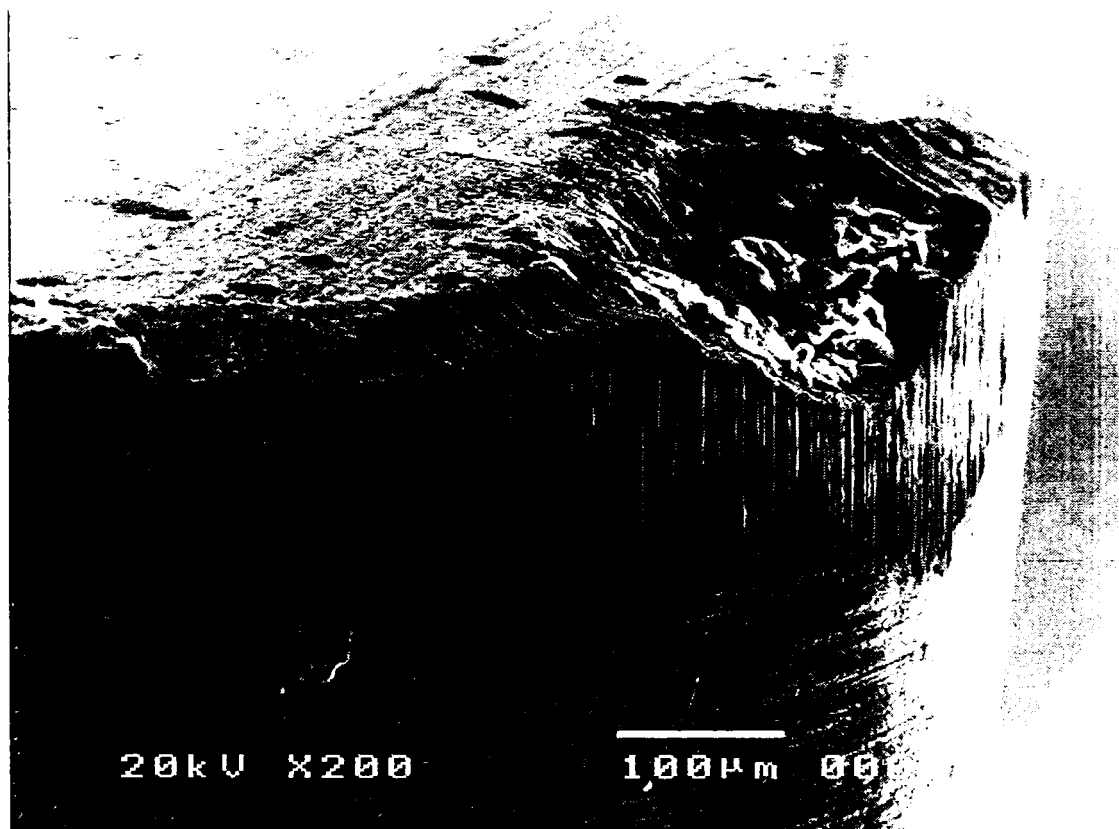


Figura 4.81. Uzura plăcuței din ceramică CC670 la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62HRC cu următorul regim de aşchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,2$ mm, mărire x200, durabilitatea $T=42,9$ min

În toate cazurile uzura pe fața de așezare $V_B=0,2$ mm. În figura 4.81 în cazul sculei din CC650 se observă cum uzura a debutat foarte clar în zona fațetei plăcuței atingându-se apoi $V_B=0,2$ mm în zona muchiei așchietoare. În acest caz sunt vizibile șanțurile de uzură de pe fața de așezare care atestă o uzură prin abraziune și de asemenea se observă șanțurile de uzură de pe fața de degajare în imediata vecinătate a craterului format pe fața de degajare. Aceste șanțuri sunt apărute ca urmare a frecării dintre așchie și fațeta de pe fața de degajare. În craterul de uzură sunt vizibile fragmente de metal topit prezentând o culoare mai deschisă decât restul plăcuței. Acest lucru ne poate conduce la ideea că în zona respectivă s-a atins o temperatură foarte mare care poate a favorizat și procesul de uzură prin difuzie. Nu există elemente care să ateste realizarea unei depuneri pe tăiș. Durabilitatea sculei a fost în acest caz de 42,9 min, mult mai scăzută (de cca. 4 ori mai mică) comparativ cu celelalte materiale de sculă.

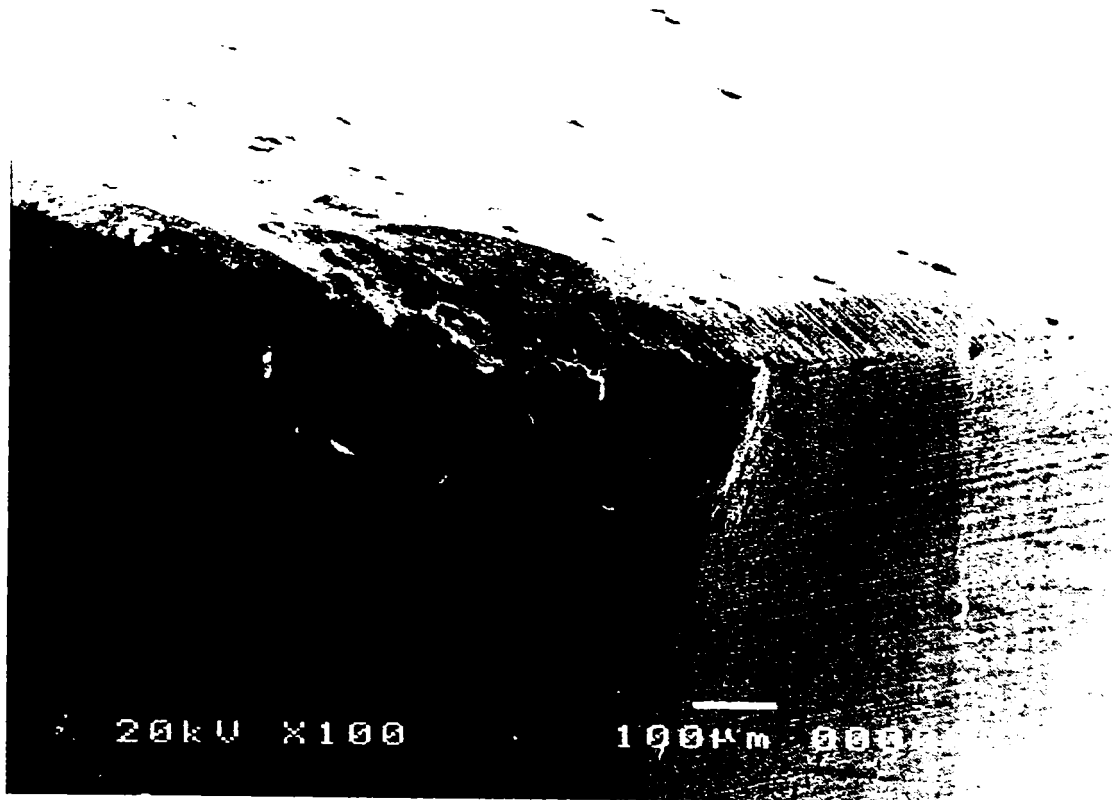


Figura 4.82. Uzura plăcuței din ceramică CC650 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c= 100$ m/min, $f_n= 0,06$ mm/rot, $a_p= 0,25$ mm, $V_B=0,21$ mm, mărire X100, durabilitatea $T= 162,7$ min

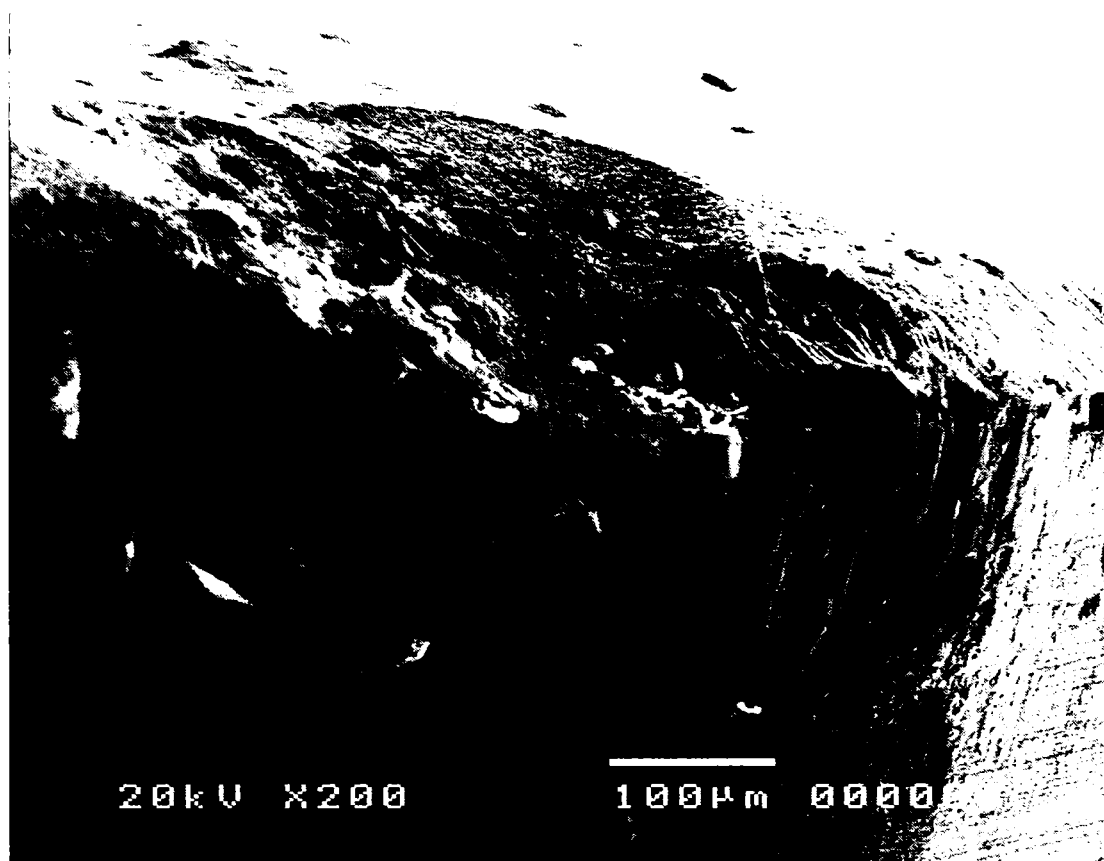


Figura 4.83. Uzura plăcuței din ceramică CC650 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c = 100$ m/min, $f_n = 0.06$ mm/rot.

$a_p = 0,25$ mm, $V_B = 0,21$ mm, mărire X200, durabilitatea $T = 162,7$ min

În figurile 4.82 și 4.83 sunt prezentate două fotografii cu aceeași uzură pentru aceeași plăcuță așchietoare dar realizate cu ordine de mărire diferite pentru a pune mai bine în evidență forma uzurii muchiei așchietoare. Uzura pe fața de așezare are o formă relativ regulată. Duritatea mare a acestui material de sculă împiedică apariția unei uzuri neregulate lucru confirmat și de alți autori [131]. Pe fața de așezare poate fi vizualizat un strat acoperitor care prezintă niște șanțuri pe direcția de frecare dintre suprafața de așezare și semifabricat. Acest lucru confirmă faptul că în zona de așchiere datorită temperaturilor ridicate se realizează o adeziune între materialul sculei și semifabricat. În cazul de față în special pe fața de așezare și care este îndepărtat ciclic, rezultând unele șanțuri de uzură. Uzura pe fața de degajare are același aspect ca și în cazul primului experiment în sensul că par exfoliate straturi succesive din materialul sculei. Pot fi observate și în acest caz câteva particule de metal topit în zona craterului de uzură. Durabilitatea sculei a fost în acest caz $T = 162,7$ min.



Figura 4.84. Uzura plăcuței din nitrură cubica de bor CB7020 la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de aşchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,2$ mm, mărire x100, durabilitatea $T=190$ min

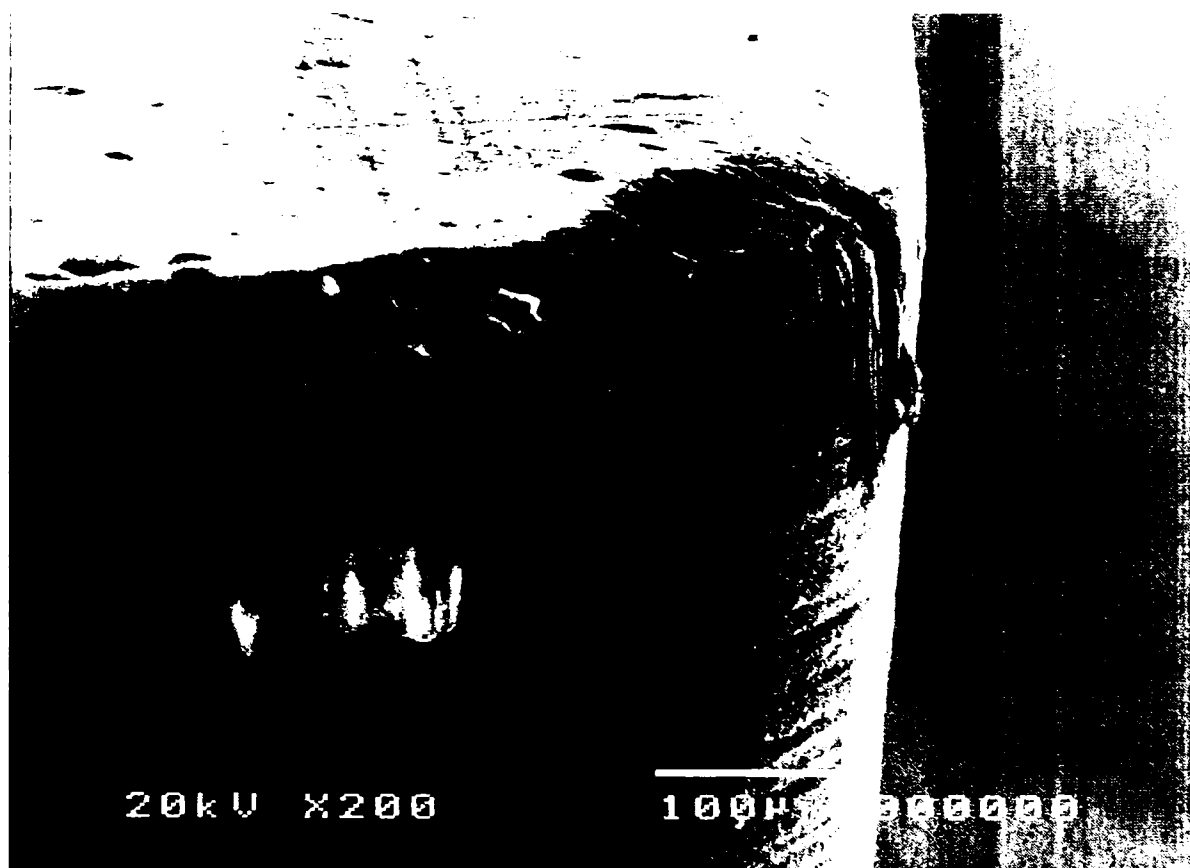


Figura 4.85. Uzura plăcuței din nitrură cubica de bor CB7020 la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de aşchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,2$ mm, mărire x200, durabilitatea $T=190$ min

În figurile 4.84 și 4.85 sunt prezentate fotografiile realizate la microscopul electronic SEM (Scanning Electronic Measurement) privind uzura sculei din nitrură cubică de bor CB7020 cu ordin de mărire 100 și respectiv 200. Uzura în acest caz prezintă o formă regulată atât pe fața de așezare cât și pe fața de degajare. Se vede clar că lățimea craterului de uzură pe fața de degajare nu depășește lățimea fațetei, iar pe fața de așezare sunt prezente niște șanțuri de uzură care vin să confirme că principala cauză a uzurii pe fața de așezare este uzura prin abraziune. Așa cum au afirmat o serie de cercetători [37] craterul de uzură de pe fața de degajare s-a extins până în vecinătatea muchiei așchietoare aceasta nefiind totuși distrusă. În acest caz se observă doar câteva particule de metal topit în craterul de uzură semn că nu s-a atins o temperatură suficient de mare care să conducă și la o uzură prin difuzie, și ca atare acest tip de uzură nu a jucat un rol la fel de important ca în cazurile precedente. Acest lucru ar putea fi explicat prin faptul că scula din nitrură cubică de bor policristalină CB7020 posedând o conductibilitate termică superioară sculelor din materiale ceramice, temperatura generată în zona de așchiere a fost mai redusă, neputând fi declanșat în acest fel mecanismul prin difuzie, cel puțin pentru regimul de așchiere utilizat. Durabilitatea sculei CB7020 în acest caz este remarcabilă $T=190$ min.

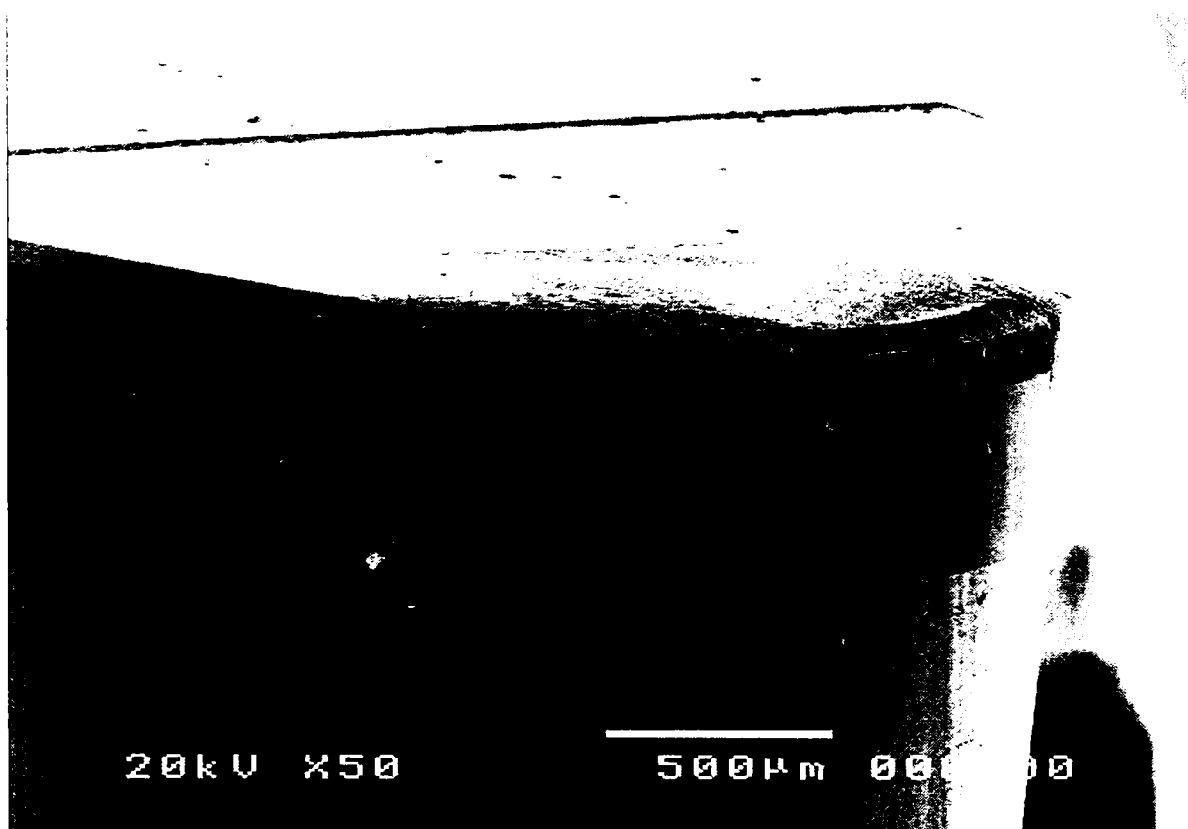


Figura 4.86. Uzura plăcuței din nitrură cubică de bor DBN45 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0.194$ mm, mărire x 50, durabilitatea $T=172,74$ min



Figura 4.87. Uzura plăcuței din nitrură cubică de bor DBN45 la așchieria oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0.06$ mm rot, $a_p=0.25$ mm, $V_B=0.194$ mm. mărire x 100, durabilitatea $T=172,74$ min

În figurile 4.86 și 4.87 sunt prezentate fotografiile SEM privind uzura plăcuței DBN45 cu două ordine de mărire x50 și x100.

Din cele două fotografii se poate vedea cât de regulată este uzura atât pe fața de așezare cât și pe fața de degajare. Ca și în cazul celeilalte scule din NCBP – CB7020 se observă că mărimea craterului de uzură nu depășește lățimea fațetei și se produce până în imediata vecinătate a muchiei așchietoare, determinând practic o reascuțire a acesteia, lucru confirmat și de valoarea scăzută a rugozității suprafeței așchiate, chiar și după ce s-a atins criteriul limită de uzură $V_B=0,2$ mm după 172,74 min și anume $R_a=0.6\mu\text{m}$ conform tabelului 4.10. Uzura pe fața de așezare prezintă aceeași formă ca și pentru scula CB7020 și anume o serie de șanțuri orientate după direcția principală de așchiere și care confirmă faptul că uzura prin abraziune este principala cauză a uzurii pe fața de așezare. În ceea ce privește uzura prin abraziune aceasta poate lua naștere fie datorită frecării cu particule foarte dure prezente în semifabricat, fie prin antrenarea unor particule dure smulse din materialul sculei ca urmare a unui fenomen de oboseală sau ca urmare a mecanismului uzurii de adeziune, și care sunt antrenate în zona de așchiere. Nici în acest caz nu sunt indicii că s-ar produce o uzură prin difuzie dată fiind lipsa de material topit. Acest lucru poate fi explicat la fel ca în cazul celeilalte scule din NCBP, și anume că

temperatura din zona de așchiere nu a atins pragul declanșării mecanismului de uzură prin difuzie datorită conductibilității termice ridicate a sculei din DBN45 față de sculele ceramice. Durabilitatea sculei a fost de 172,74 min până la atingerea criteriului limită $V_B=0,2$ mm.

În figurile 4.88 - 4.92 sunt prezentate fotografiile la microscopul electronic SEM cu diferite ordine de mărire pentru sculele CC670, CC650 CB7020 și DBN45 la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm.

Ordinele de mărire au fost alese de așa natură încât să se obțină imagini de o calitate cât mai ridicată pentru a putea fi vizualizată forma uzurii pentru fiecare tip de material de sculă în aceleași condiții de așchiere.

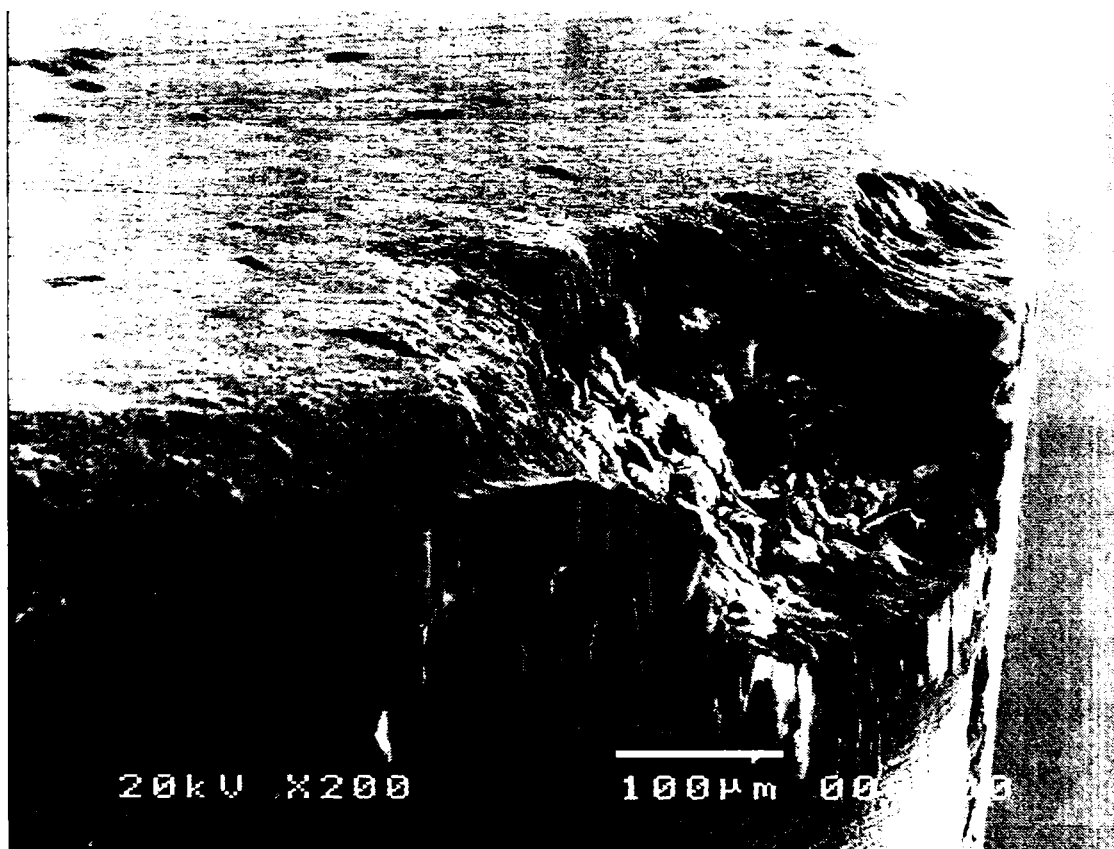


Figura 4.88. Uzura plăcuței din ceramică CC670 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c= 180$ m/min, $f_n= 0,06$ mm/rot, $a_p= 0,25$ mm, $V_B=0,23$ mm, mărire x200, durabilitatea $T= 17,40$ min



Figura 4.89. Uzura plăcuței din ceramică CC650 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c = 180$ m/min, $f_n = 0,06$ mm/rot, $a_p = 0,25$ mm, $V_B = 0,2$ mm, mărire X200, durabilitatea $T = 38,76$ min

În figurile 4.88 și 4.89 este prezentată forma uzurii pentru plăcuțele din ceramică CC670 și respectiv CC650. Se poate vedea cât de asemănătoare este forma uzurii acestor două tipuri de plăcuțe ceramice, deosebirea constând practic în valoarea pe care o atinge durabilitatea sculei pentru scula CC650, care este mai mult decât dublul durabilității obținute cu scula CC670. În ambele fotografii se poate vedea că la început uzura pe fața de degajare a debutat în zona fațetei plăcuței și că lățimea craterului de uzură nu depășește lățimea fațetei până la un moment dat când uzura a crescut progresiv conducând la extinderea și adâncirea craterului de uzură. Din ambele fotografii se poate vedea că în craterul de uzură se găsește o cantitate însemnată de material topit lucru care ne arată că în acest caz în timpul așchierii s-a atins o temperatură ridicată care a făcut ca uzura prin difuzie să joace un rol important în acest caz. Acest lucru ar putea fi confirmat și de faptul că de această dată lucrându-se cu o viteză de așchiere de 180 m/min, față de 100 m/min în cazul precedent, există premisele încălzirii suplimentare a muchiei așchietoare realizându-se astfel în zona de așchiere o temperatură mai ridicată, care să declanșeze mecanismul uzurii prin difuzie. Pe fața de așezare se observă aceleași șanțuri orientate după direcția principală de așchiere acoperite de un strat care pare să adere foarte bine la suprafața de așezare și care este îndepărtat ciclic. Acest fenomen ar putea

confirma producerea uzurii prin adeziune.

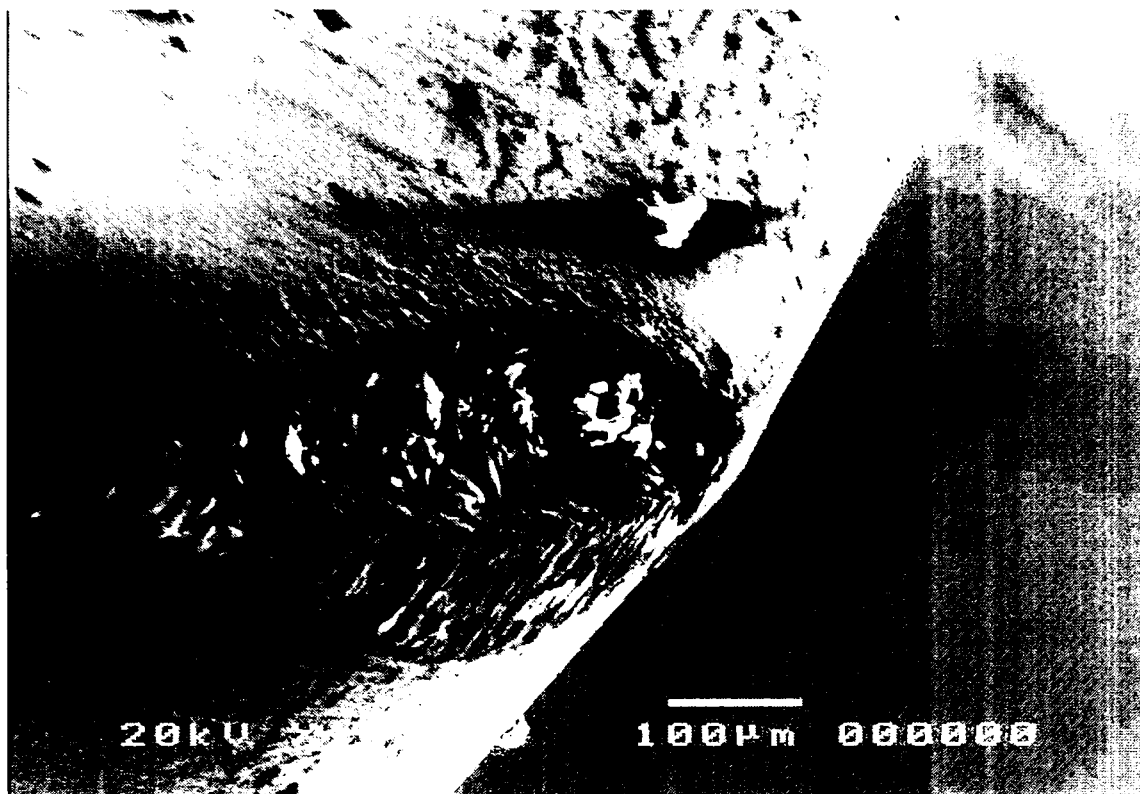


Figura 4.90. Uzura plăcuței din nitrură cubica de bor CB7020 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,2$ mm, mărire $\times 150$, durabilitatea $T=64,5$ min

În figura 4.90 este prezentată uzura plăcuței CB7020. Craterul de uzură se dezvoltă până în vecinătatea muchiei așchietoare, aceasta fiind practic reascuțită în acest fel. Acest lucru este confirmat și de rugozitatea obținută cu scula CB7020 pentru acest regim de așchiere și pentru o uzură de $V_B=0,2$ mm, și anume $R_a=0,75$ μ m (tabel 4.9).

În acest caz pot fi văzute câteva particule de metal topit în craterul de uzură deci este atestată prezența mecanismului de uzură prin difuzie. Uzura pe fața de așezare are o formă regulată și pot fi observate și aici fragmente de metal topit atașate pe suprafața de așezare. Totuși nu pare să fie un strat acoperitor continuu ca în cazul sculelor ceramice lucru care ne arată că uzura prin abraziune rămâne totuși principalul mecanism de uzură a muchiei așchietoare a sculei CB7020, pentru acest regim de așchiere.

Durabilitatea sculei CB7020 este în acest caz 64,5 min care reprezintă aproape dublul durabilității obținute cu scula CC650 în aceleași condiții de așchiere și este de cca. patru ori mai mare decât cea a sculei CC670.

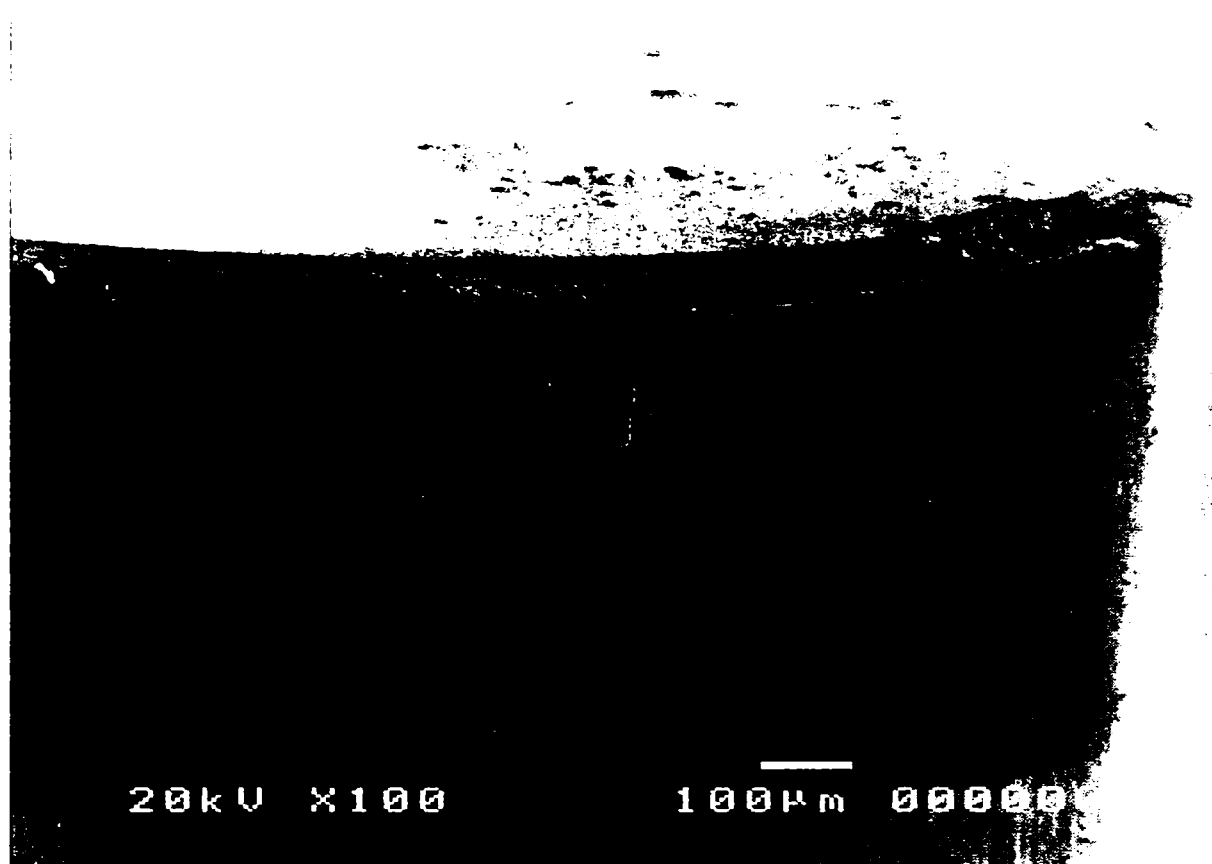


Figura 4.91. Uzura plăcuței din nitrură cubică de bor DBN45 la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,196$ mm, mărire x 100, durabilitatea $T=20$ min

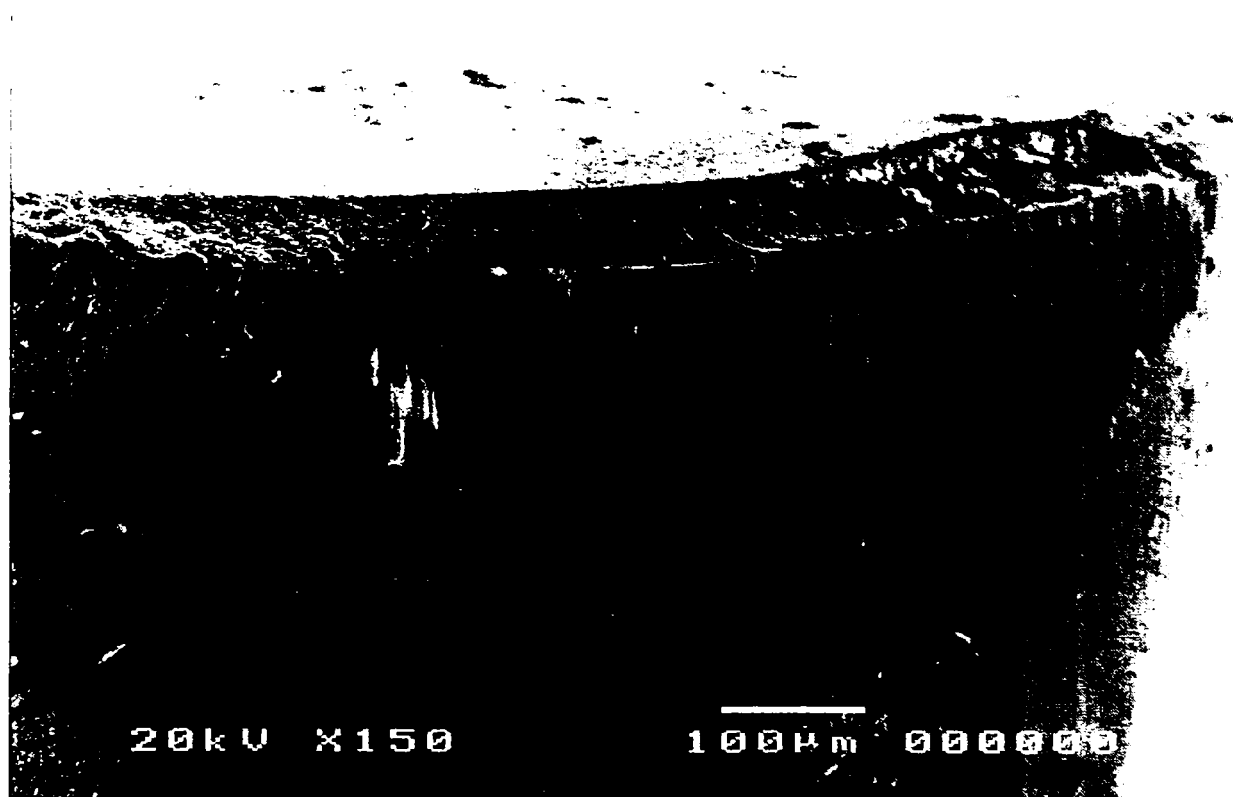


Figura 4.92. Uzura plăcuței din nitrură cubică de bor DBN45 la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,196$ mm, mărire x 150, durabilitatea $T=20$ min

În figurile 4.91 și 4.92 sunt prezentate fotografiile SEM cu uzura sculei DBN45 cu ordine de mărire diferite pentru a putea fi mai bine analizată forma uzurii. Pentru scula DBN45 uzura nu pare să difere foarte mult față de situația anterioară când s-a lucrat cu un regim de așchiere ce presupunea o viteză $V_c=100$ m/min (figurile 4.86 și 4.87) față de cazul acesta când viteza a crescut la 180 m/min. Poate fi remarcată aceeași formă regulată a uzurii și faptul că uzura pe fața de degajare este mică nedepășind lățimea fațetei. Șanțurile de uzură pe fața de așezare a sculei vin să ne arate că și în această situație uzura prin abraziune este principalul mecanism de uzură a sculei așchietoare.

În figurile 4.93.- 4.97 sunt prezentate fotografiile SEM cu formele uzurii întâlnite la cele patru tipuri de materiale de sculă utilizate la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm. Practic față de regimul precedent de așchiere a fost crescut avansul de așchiere de la 0,06 la 0,22 mm/rot păstrând constantele ceilalți doi parametri ai regimului de așchiere.

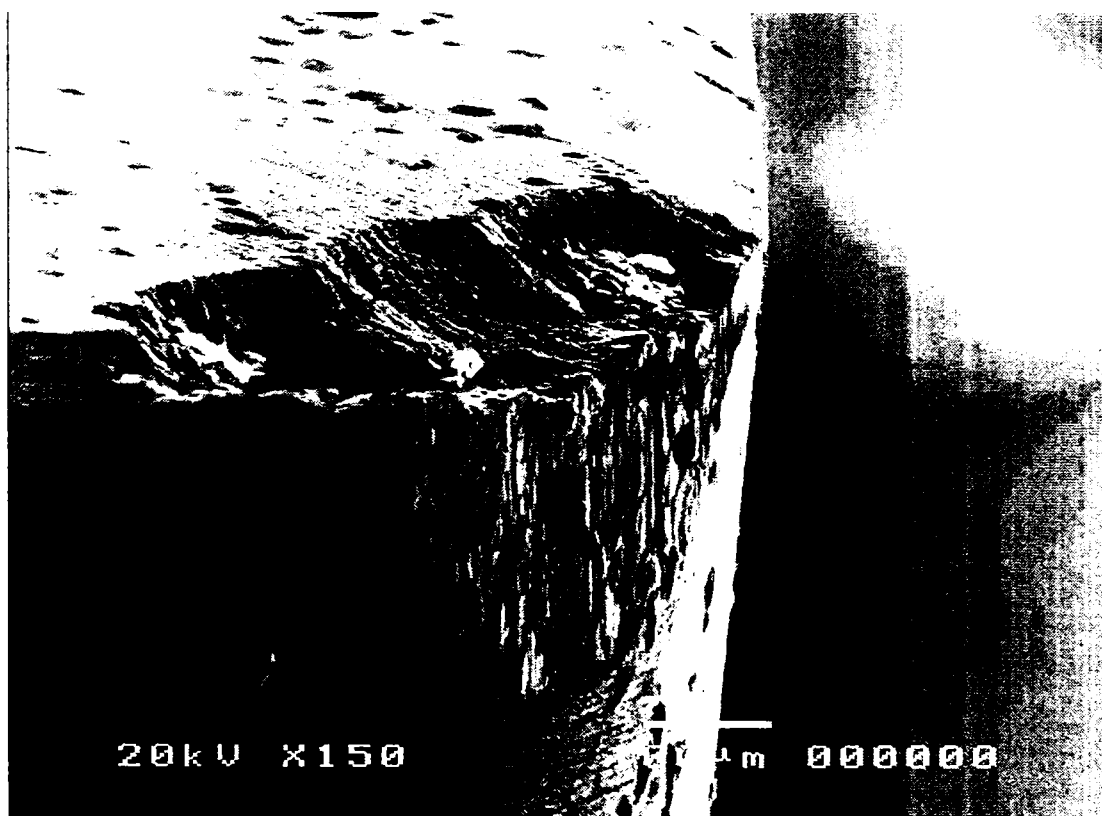


Figura 4.93. Uzura plăcuței din ceramică CC670 la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c= 100$ m/min, $f_n= 0,22$ mm/rot, $a_p= 0,25$ mm, $V_B=0,3$ mm, mărire x150, durabilitatea $T= 0,26$ min

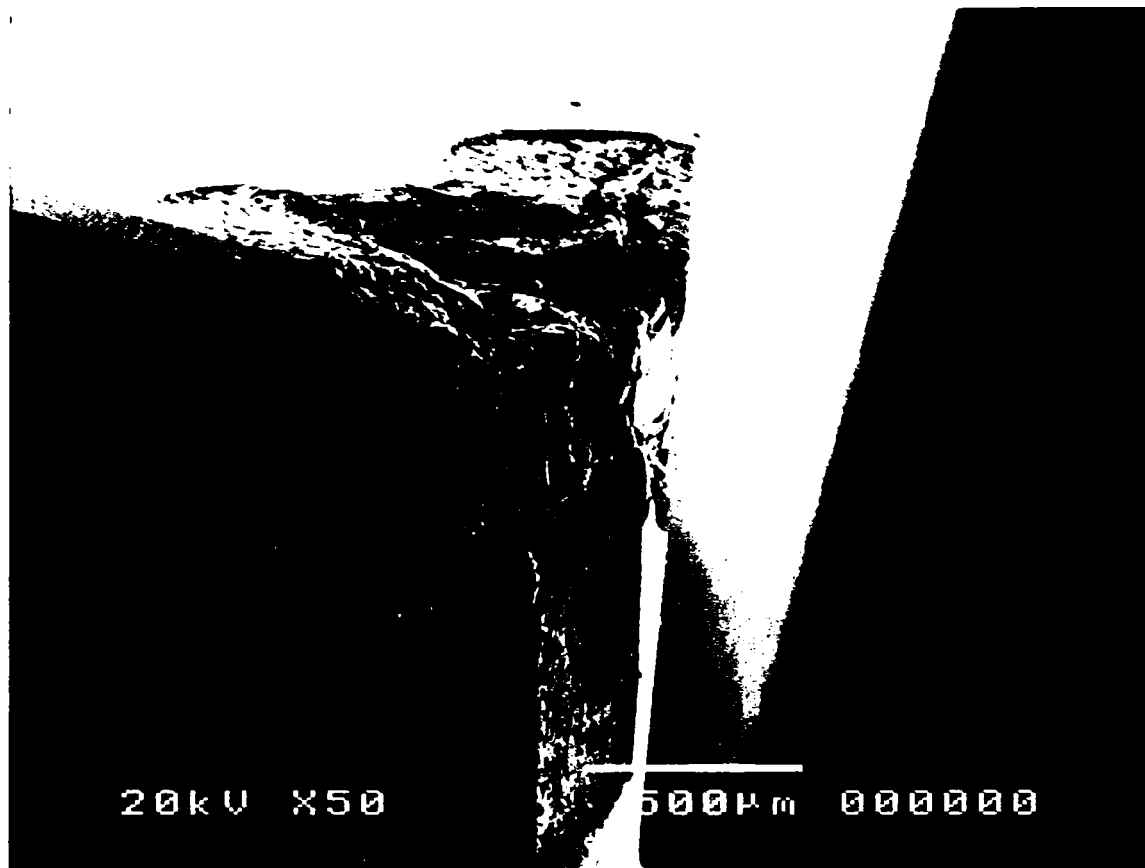


Figura 4.94. Uzura plăcuței din ceramică CC650 la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62HRC cu următorul regim de aşchiere: $V_c = 180$ m/min, $f_n = 0,22$ mm/rot, $a_p = 0,25$ mm, $V_B = 0,66$ mm, mărire X50, durabilitatea $T = 0,32$ min



Figura 4.95. Uzura plăcuței din nitrură cubica de bor CB7020 la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de aşchiere: $V_c = 180$ m/min, $f_n = 0,22$ mm/rot, $a_p = 0,25$ mm, $V_B = 0,32$ mm, mărire x150, durabilitatea $T = 11,16$ min



Figura 4.96. Uzura plăcuței din nitrură cubică de bor DBN45 la așchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,5$ mm, mărire x 100, durabilitatea $T=6.29$ min

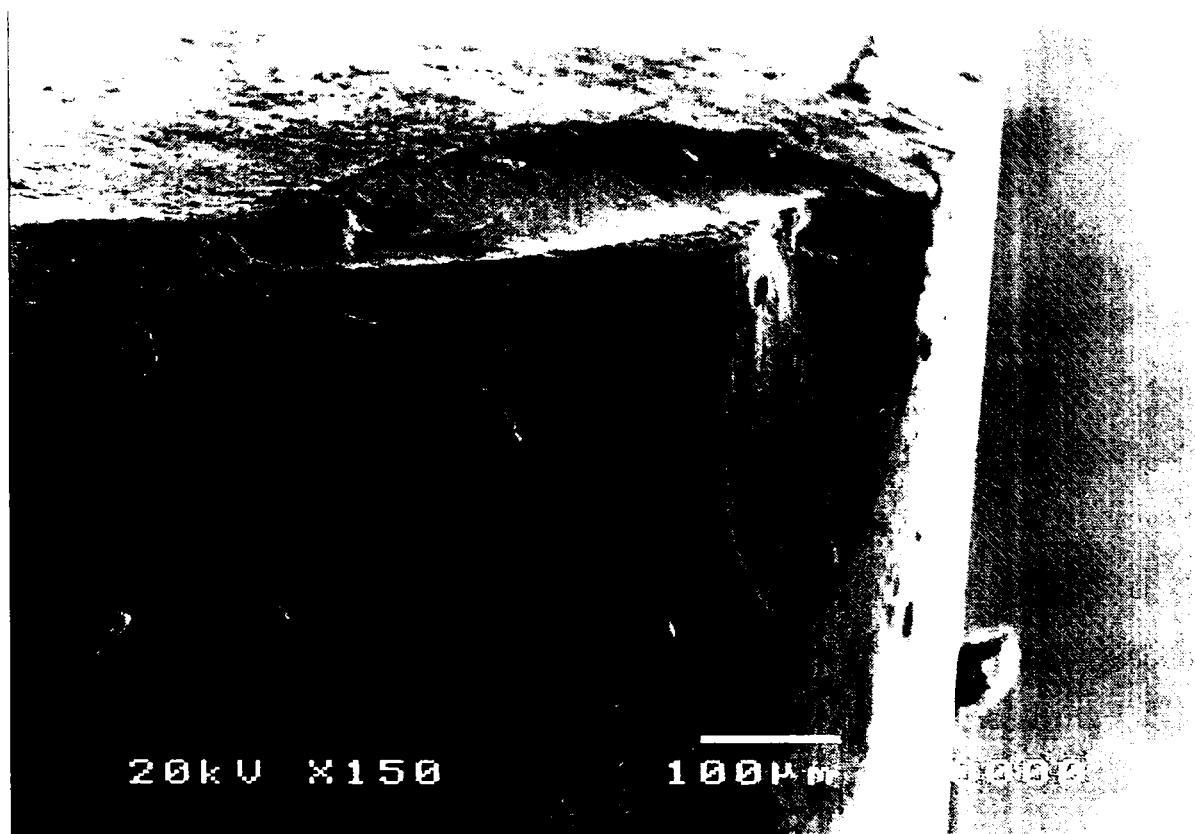


Figura 4.97. Uzura plăcuței din nitrură cubică de bor DBN45 la așchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,5$ mm, mărire x 150, durabilitatea $T=6.29$ min

În figura 4.93 se observă distinct șanțurile de uzură ce formează craterul de uzură de pe fața de degajare. crater a cărui lățime depășește cu puțin lățimea fațetei plăcuței. Există în craterul de uzură fragmente de metal topit dar într-o cantitate semnificativ mai mică decât în cazul precedent (figura 4.88), semn că uzura prin difuzie nu mai joacă un rol atât de important în acest caz când avansul a crescut de la 0,06 la 0,28 mm/rot. Pe fața de așezare se observă pe alocuri fragmente de metal topit atașate de suprafața de așezare. însă fără să mai formeze acel strat acoperitor continuu, semn că uzura prin abraziune joacă în acest caz cel mai important rol și nu uzura prin adeziune. Durabilitatea sculei este foarte redusă $T=0,26$ min, așadar acesta este un regim de așchiere impropriu pentru o sculă așchietoare din CC670.

În figura 4.94 este prezentată uzura sculei CC650 și practic se observă că scula a fost distrusă realizându-se ciobituri în sculă datorate probabil șocurilor generate de vibrațiile ce au luat naștere ca urmare a valorii ridicate a avansului de așchiere. Mai multe lucrări de specialitate fac referire la faptul că fragilitatea sculelor ceramice CC650 este mai mare decât a sculelor CC670 la care s-au adăugat acele fibre de SiC tocmai în vederea îmbunătățirii tenacității acestei scule așchietoare. Probabil că din acest considerent în cazul sculei din CC670 nu s-a obținut acest tip de uzură.

În figura 4.95 este prezentată uzura sculei CB7020. La fel ca și în cazul utilizării celorlalte regimuri de așchiere pentru acest material de sculă (figura 4.85 și 4.90), craterul de uzură s-a dezvoltat până în vecinătatea muchiei așchietoare, cu deosebirea că în acest caz muchia așchietoare prezintă o serie de ciupituri care pot fi atribuite vibrațiilor generate de valoarea ridicată a avansului $f_n=0,28$ mm/rot. În craterul de uzură se observă o cantitate de metal topit semn că și uzura prin difuzie a contribuit la uzura sculei așchietoare. În ceea ce privește uzura pe fața de așezare se observă practic exfolierea unui strat de pe fața de așezare datorită probabil presiunii de contact foarte mari și vibrațiilor din procesul de așchiere.

În figurile 4.96 și 4.97 este prezentată uzura pentru scula DBN45 vizualizată cu două ordine de mărire și anume $\times 100$ și $\times 150$ pentru a putea fi observate în condiții mai bune caracteristicile uzurii acestei scule așchietoare. Pe fața de degajare poate fi văzut craterul de uzură care apare până în vecinătatea muchiei așchietoare la fel ca în cazul sculei CB7020 și la fel ca și în cazul acelei scule și aici muchia așchietoare prezintă acele ciupituri datorate vibrațiilor din procesul de așchiere. Dat fiind faptul că și sculele din

NCBP prezintă o fragilitate ridicată și nu rezistă la șocuri mecanice trebuie păstrat avansul în limite rezonabile pentru a nu da naștere la vibrații care pot duce la distrugerea prematură a acestor tipuri de scule așchietoare. Pe fața de așezare nu pot fi văzute explicit șanțuri de uzură, ci mai ciobituri cauzate de șocurile mecanice rezultate în urma vibrațiilor din procesul de așchiere.

În figurile 4.98, 4.99 și 4.100 este prezentată variația durabilității sculei CC670 cu uzura pe fața de așezare V_B variind viteza de așchiere pentru diferite valori ale avansului – vezi Anexa 4. Criteriul limită de durabilitate a fost ales $V_B=0,2$ mm.

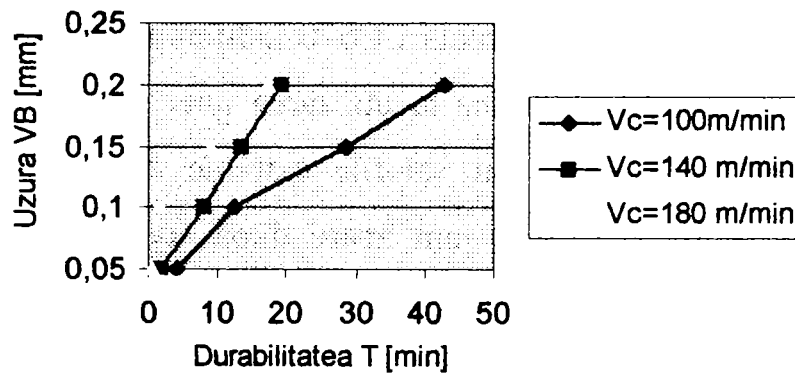


Figura 4.98. Variația durabilității sculei CC670 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

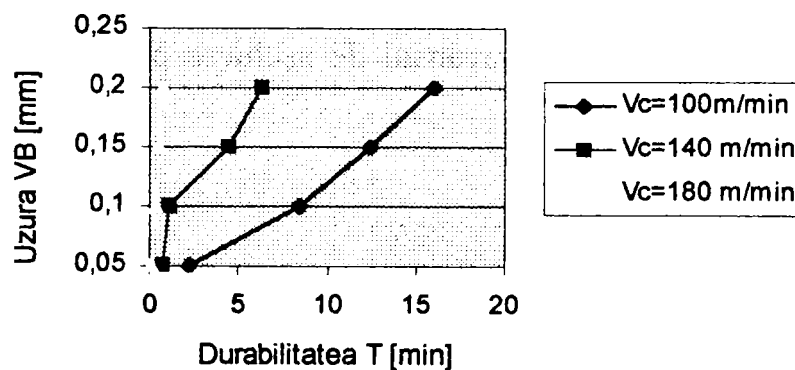


Figura 4.99. Variația durabilității sculei CC670 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

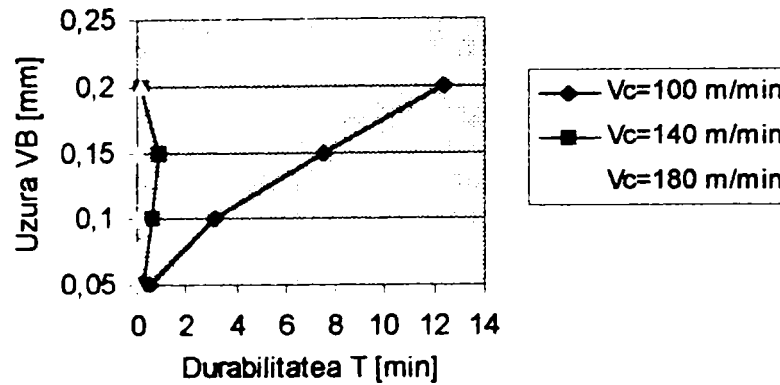


Figura 4.100. Variația durabilității sculei CC670 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Din aceste grafice reiese că pentru scula CC670 indiferent de valoarea avansului cea mai bună durabilitate a sculei se obține la utilizarea unei viteze în jurul celei de 100m/min. În cazul când se lucrează cu valorile extreme ale avansului 0,06 sau 0,22mm/rot se observă că uzura $V_B=0,2$ mm apare după aceeași perioadă de timp indiferent că se lucrează cu viteze $V_c=140$ sau 180 m/min (fig. 4.98 și 4.100). Bineînțeles că valoarea durabilității sculei CC670 este mult mai mare pentru toată gama de viteze utilizată de la 100-180 m/min atunci când se lucrează cu avans de așchiere $f_n=0,06$ mm/rot $T=42,9$ min, față de situația $f_n=0,14$ mm/rot când $T=16,01$ min sau pentru $f_n=0,22$ mm/rot, când $T=12,38$ min.

În figurile 4.101, 4.102 și 4.103 este prezentată variația durabilității sculei CC670 cu uzura pe fața de așezare V_B , variind avansul de așchiere pentru diferite valori ale vitezei de așchiere- vezi Anexa 4.

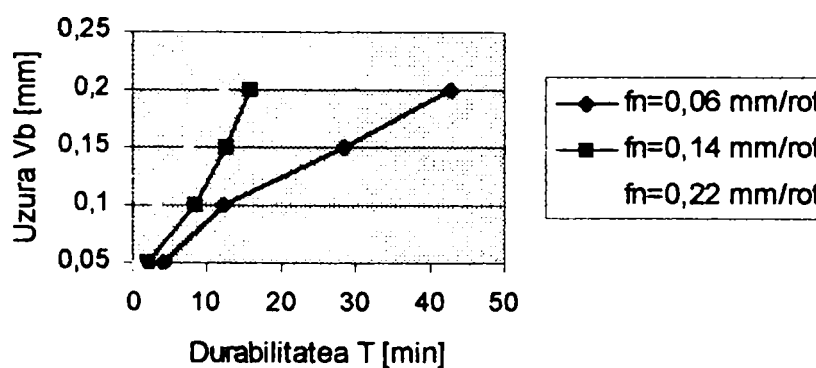


Figura 4.101. Variația durabilității sculei CC670 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere, $V_c= 100$ m/min, $a_p= 0,25$ mm

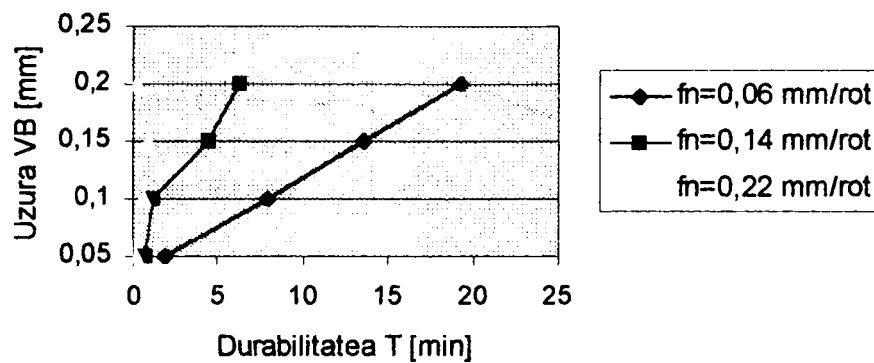


Figura 4.102. Variația durabilității sculei CC670 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere, $V_c= 140$ m/min, $a_p= 0,25$ mm

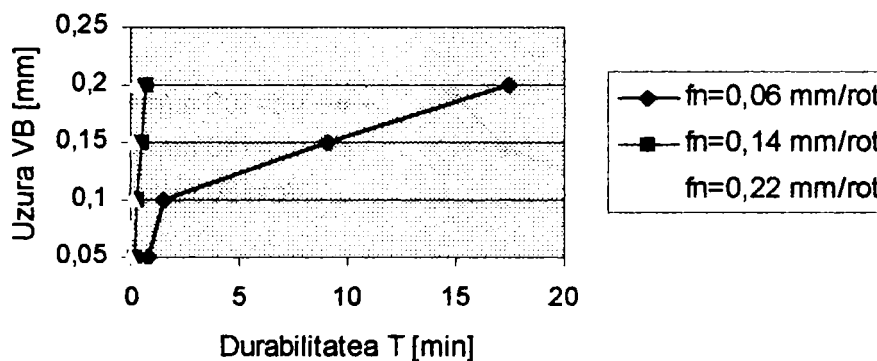


Figura 4.103. Variația durabilității sculei CC670 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere, $V_c= 180$ m/min, $a_p= 0,25$ mm

Din figura 4.101 se poate vedea că valorile cele mai ridicate ale durabilității sculei CC670 se ating atunci când se lucrează cu avansuri mici $f_n=0,06$ mm/rot pentru întreaga gamă de viteze de așchiere cuprinsă între $V_c=100-180$ m/min. Se observă că la viteze de 140 respectiv 180 m/min și la valori ale avansului de așchiere de 0,22 mm/rot valoarea durabilității sculei CC670 este sub un minut ceea ce conduce la concluzia că aceste regimuri de așchiere nu sunt adecvate pentru acest tip de sculă așchietoare.

În figurile 4.104, 4.105 și 4.106 este prezentată variația durabilității sculei CC650 cu uzura V_B , variindu-se viteza de așchiere pentru diferite valori ale avansului de așchiere (conform Anexei 4). La fel ca în cazul precedent criteriul limită de durabilitate a fost ales $V_B=0,2$ mm.

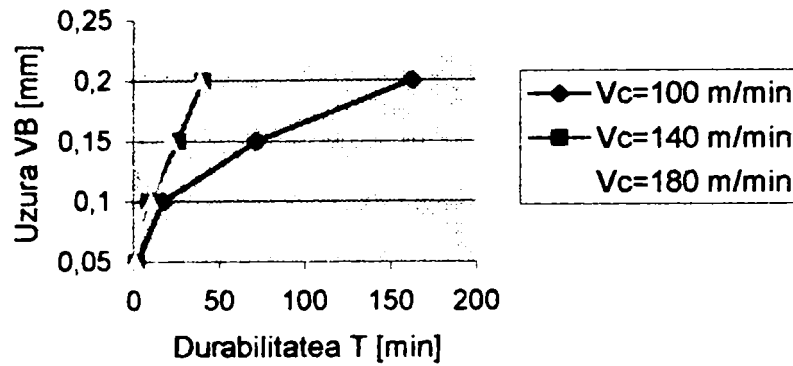


Figura 4.104. Variația durabilității sculei CC650 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,06\text{mm/rot}$, $a_p=0,25\text{ mm}$

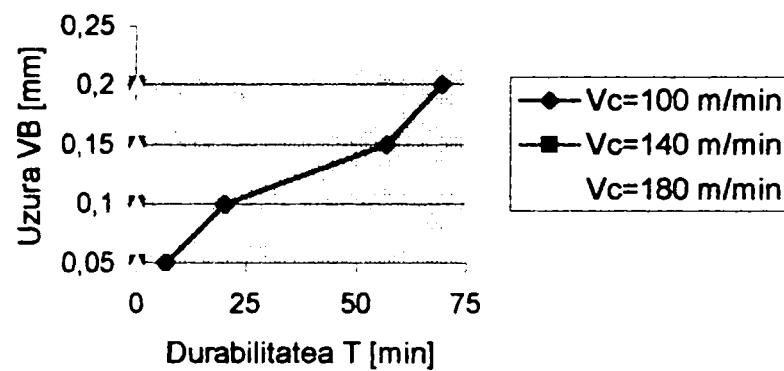


Figura 4.105. Variația durabilității sculei CC650 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,14\text{mm/rot}$, $a_p=0,25\text{ mm}$

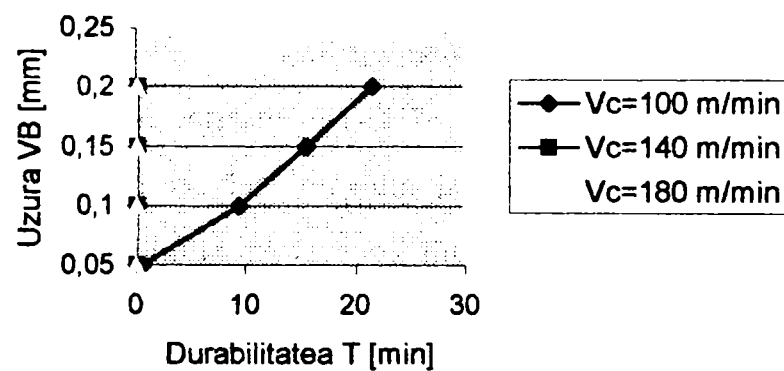


Figura 4.106. Variația durabilității sculei CC650 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,22\text{mm/rot}$, $a_p=0,25\text{ mm}$

Analizând figura 4.104 se vede că durabilitatea cea mai ridicată, de peste 150 min este obținută pentru o viteză $V_c=100\text{ m/min}$. Se mai poate vedea că indiferent dacă se lucrează cu o viteză $V_c=140\text{ m/min}$ sau 180 m/min durabilitatea sculei este aproximativ aceeași dacă avansul $f_n=0,06\text{ mm/rot}$ și $a_p=0,25\text{ mm}$.

În figurile 4.105 și 4.106 se observă că pentru avansuri de așchiere în gama de la 0,14 mm/rot la 0,22 mm/rot variația vitezei de așchiere de la 140 la 180 m/min conduce la valori ale durabilității sculei de sub un minut până la atingerea uzurii $V_B=0,2$ mm.

Pentru $f_n=0,14$ mm/rot și $V_c=100$ m/min durabilitatea T a fost de aproximativ 69,52 min adică de cca. trei ori mai mică decât atunci când s-a utilizat un avans $f_n=0,06$ mm/rot pentru aceeași viteză de așchiere $T=162,7$ min (fig. 4.104) dar a fost superioară față de cazul când s-a utilizat $f_n=0,22$ mm/rot, iar durabilitatea $T=21,5$ min (fig.4.106). În aceste ultime două figuri se vede că durabilitatea cea mai mare a fost atinsă tot pentru o viteză $V_c=100$ m/min la fel ca și în figura 4.104.

În figurile 4.107, 4.108 și 4.109 este prezentată variația durabilității sculei CC650 cu uzura pe fața de așezare V_B la variația avansului pentru diferite viteze de așchiere – vezi Anexa 4.

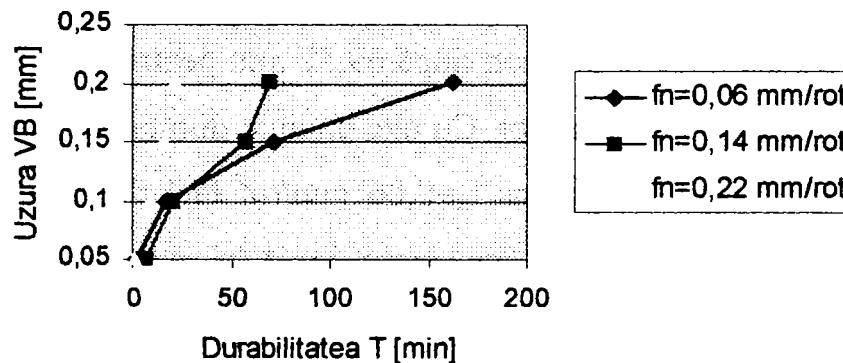


Figura 4.107. Variația durabilității sculei CC650 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere $V_c= 100$ m/min, $a_p= 0,25$ mm

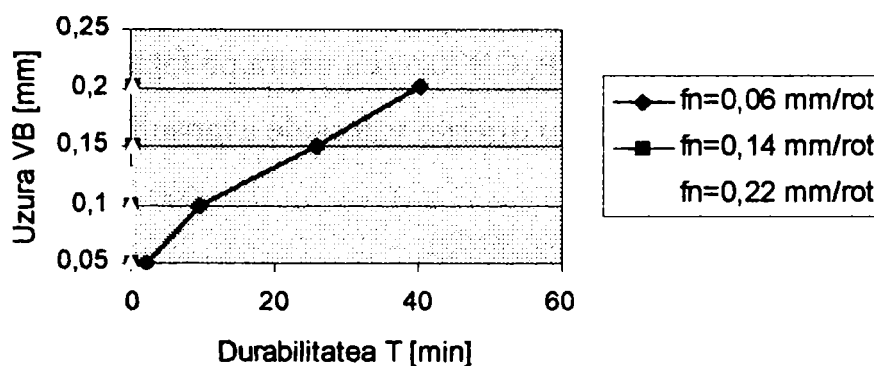


Figura 4.108. Variația durabilității sculei CC650 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere $V_c= 140$ m/min, $a_p= 0,25$ mm

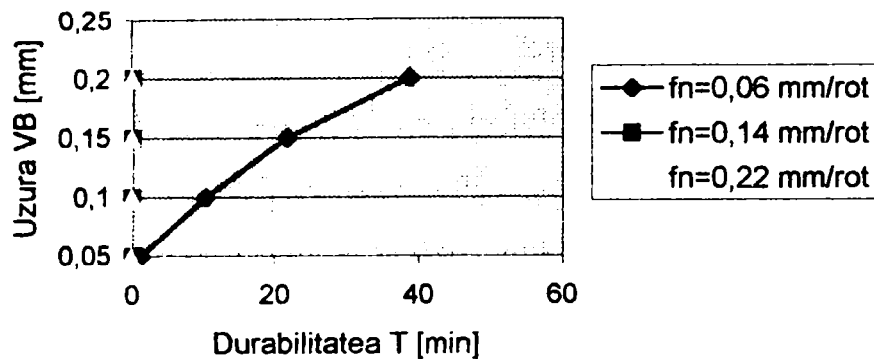


Figura 4.109. Variația durabilității sculei CC650 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere $V_c=180$ m/min, $a_p=0,25$ mm

În figura 4.107 se vede că uzura $V_B=0,1$ mm când s-a utilizat viteza $V_c=100$ m/min a fost atinsă aproximativ în același timp indiferent de valoarea avansului de așchiere utilizat. Uzura $V_B=0,15$ mm a fost atinsă după aproximativ aceeași perioadă de timp atunci când s-au folosit avansuri de 0,14 respectiv 0,22 mm/rot. Uzura $V_B=0,2$ mm a fost atinsă după 21,5 min pentru $f_n=0,22$ mm/rot; după 69,52 min pentru $f_n=0,14$ mm/rot și în fine după 162,7 min pentru $f_n=0,06$ mm/rot. Cu alte cuvinte durabilitatea T a fost de opt ori mai mare în cazul folosirii unui avans $f_n=0,06$ mm/rot față de cazul folosirii unui avans $f_n=0,22$ mm/rot și de cca. 2,5 ori mai mare decât în cazul folosirii unui avans $f_n=0,14$ mm/rot. Din figura 4.108 și 4.109 reiese că cea mai mare durabilitate pentru scula CC650 se obține pentru valori ale avansului de 0,06 mm/rot, iar pentru valori $f_n=0,14$ mm/rot și $f_n=0,22$ mm/rot durabilitatea sculei este sub un minut. Prin urmare nu se recomandă astfel de regimuri de așchiere pentru scula CC650.

În figurile 4.110, 4.111 și 4.112 este prezentată variația durabilității sculei din nitruură cubică de bor policristalină, NCBP, CB7020 cu uzura pe fața de așezare V_B atunci când se modifică viteza de așchiere pentru diferite valori ale avansului de așchiere.

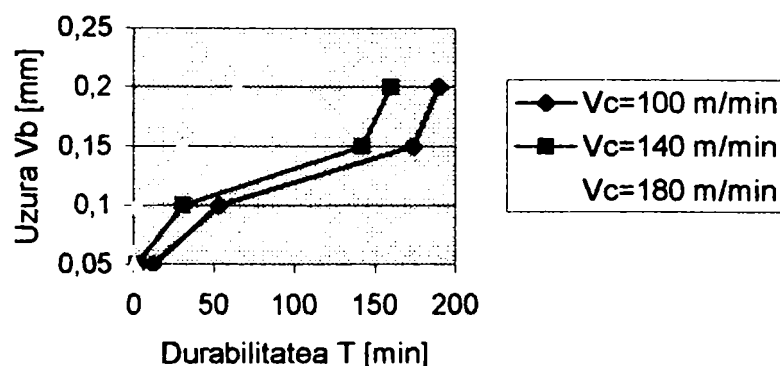


Figura 4.110. Variația durabilității sculei CB7020 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

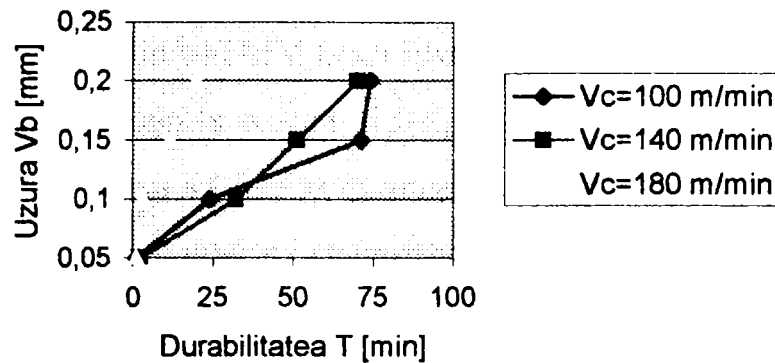


Figura 4.111. Variația durabilității sculei CB7020 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

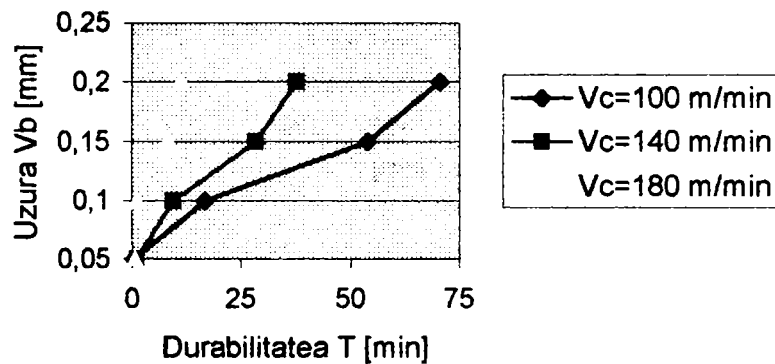


Figura 4.112. Variația durabilității sculei CB7020 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

În figura 4.110 se poate observa durabilitatea extraordinară a acestui material de sculă, care pentru $V_c=100$ m/min, atinge durabilitatea $T=190$ min, iar pentru $V_c=140$ m/min atinge durabilitatea $T=140$ min până se ajunge la criteriul limită de uzură $V_B=0,2$ mm. Chiar și în cazul utilizării unei viteze de așchiere de 180 m/min tot se obține o durabilitate foarte bună $T=64,5$ min. În acest caz se observă că uzura $V_B=0,1$ mm se atinge într-un timp foarte scurt după care urmează o creștere liniară a uzurii în timp. Graficele variației durabilității cu uzura pentru cazul $V_c=140$ m/min și $V_c=180$ m/min au aceeași alură.

În figura 4.111 se observă că în cazul unui un avans $f_n=0,14$ mm/rot uzura $V_B=0,1$ mm în cazul când se așchiază cu viteza $V_c=100$ m/min este atinsă puțin mai repede decât în cazul $V_c=140$ m/min pentru ca $V_B=0,15$ mm să fie atinsă după cca. 70 min pentru $V_c=100$ m/min, iar pentru $V_c=140$ m/min, uzura $V_B=0,15$ mm este atinsă după aproximativ 50 min. În final uzura limită $V_B=0,2$ mm se obține aproximativ în același interval de timp indiferent dacă $V_c=100$ m/min sau $V_c=140$ m/min.

În figura 4.112 se vede că durabilitatea T în cazul $f_n=0,22$ mm/rot și $V_c=100$ m/min este net superioară față de cazul când $V_c=140$ m/min sau $V_c=180$ m/min pentru același avans de așchiere. Uzura $V_B=0,1$ mm se atinge și în acest caz într-un interval de timp mai scurt, urmând apoi o creștere progresivă a uzurii.

În figurile 4.113, 4.114 și 4.115 este prezentată variația durabilității sculei CB7020 cu uzura V_B atunci când se modifică valoarea avansului pentru diferite viteze de așchiere V_c .

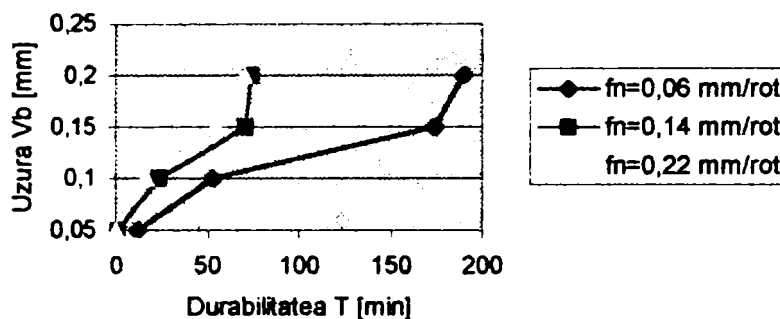


Figura 4.113. Variația durabilității sculei CB7020 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere, $V_c=100$ m/min, $a_p=0,25$ mm

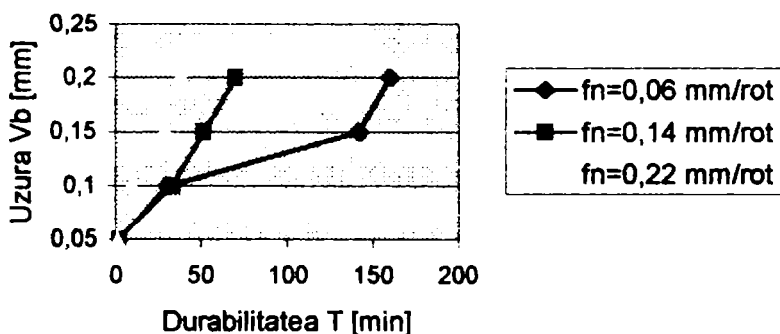


Figura 4.114. Variația durabilității sculei CB7020 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere, $V_c=140$ m/min, $a_p=0,25$ mm

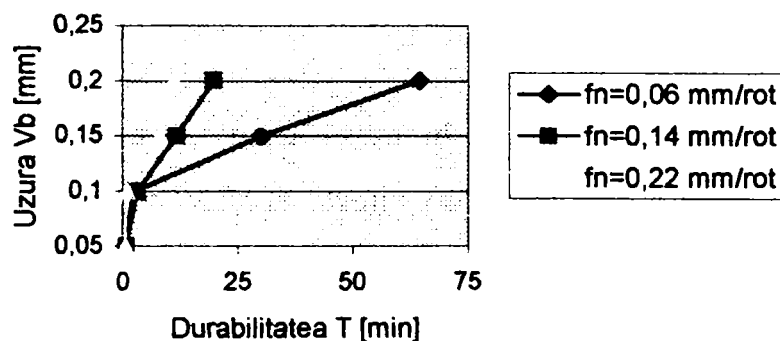


Figura 4.115. Variația durabilității sculei CB7020 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere, $V_c=180$ m/min, $a_p=0,25$ mm

În figura 4.113 se poate vedea că graficele pentru variația durabilității T cu uzura V_B atât pentru cazul $f_n=0,14$ mm/rot cât și pentru cazul $f_n=0,22$ mm/rot și viteza $V_c=100$ m/min au aceeași alură și atât uzura $V_B=0,1$ mm cât și $V_B=0,2$ mm este atinsă după aceeași perioadă de timp. Durabilitatea sculei este maximă pentru $V_c=100$ m/min și $f_n=0,06$ mm/rot.

În figura 4.114 se observă că deși uzura $V_B=0,1$ mm se atinge după aproximativ aceeași perioadă de timp pentru $f_n=0,06$ mm/rot cât și pentru $f_n=0,14$ mm/rot folosind viteza de așchiere $V_c=140$ m/min, diferențe notabile apar în ceea ce privește durabilitatea la valoarea uzurii $V_B=0,2$ mm. Astfel $T=160$ min pentru $f_n=0,06$ mm/rot și $T=64,5$ min pentru $f_n=0,14$ mm/rot. Durabilitatea pentru avansul de așchiere $f_n=0,22$ mm/rot rămâne în continuare cea mai scăzută.

În figura 4.115 uzura $V_B=0,1$ mm se atinge în același timp indiferent de avansul utilizat. La uzura $V_B=0,2$ mm se vede superioritatea clară a durabilității sculei pentru cazul $f_n=0,06$ mm/rot, față de cazul $f_n=0,14$ mm/rot, sau $f_n=0,22$ mm/rot.

Figurile 4.116, 4.117 și 4.118 prezintă variația durabilității sculei DBN45 care este tot o sculă pe bază de NCBP, cu uzura V_B atunci când se variază viteza de așchiere V_c pentru diferite valori ale avansului f_n (vezi Anexa 4).

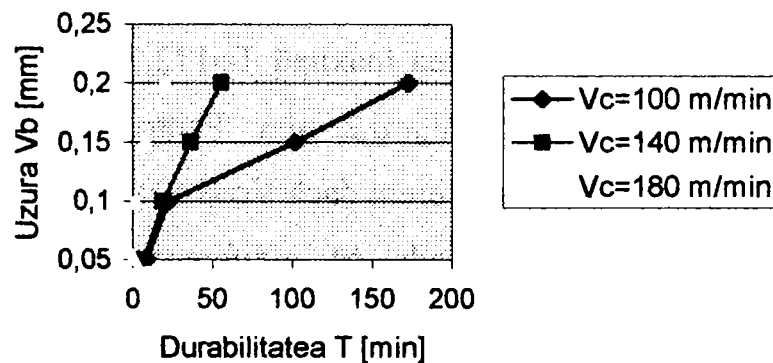


Figura 4.116. Variația durabilității sculei DBN45 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

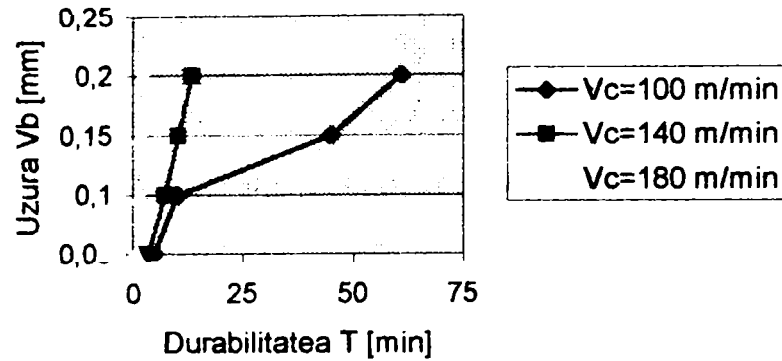


Figura 4.117. Variația durabilității sculei DBN45 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

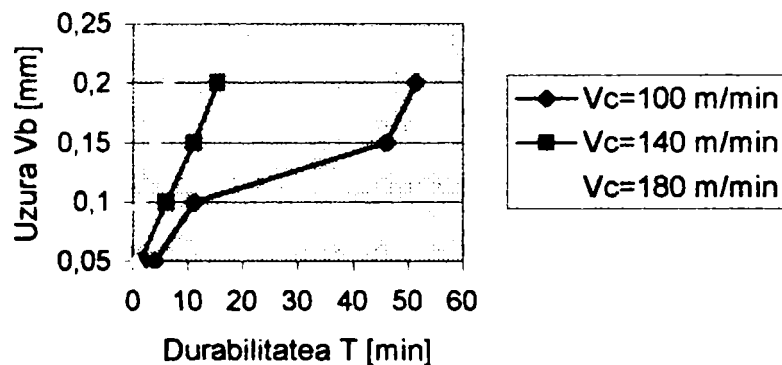


Figura 4.118. Variația durabilității sculei DBN45 cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite viteze de așchiere, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Din figura 4.116 reiese că durabilitatea maximă $T=172,74$ min se obține pentru $V_c=100$ m/min până la atingerea uzurii $V_B=0,2$ mm. Pentru $V_B=0,1$ mm valorile durabilității sculei DBN45 sunt aceleași indiferent dacă $V_c=140$ m/min sau $V_c=100$ /min.

Din figurile 4.117 și 4.118 se vede că indiferent de valoarea avansului $f_n=0,14$ mm/rot sau $f_n=0,22$ mm/rot durabilitatea T este maximă pentru valori mici ale vitezei de așchiere, $V_c=100$ m/min, iar cele mai scăzute valori pentru durabilitate se obțin la viteze $V_c=180$ m/min.

În figurile 4.119, 4.120 și 4.121 este arătată variația durabilității sculei DBN45 cu uzura pe fața de așezare V_B atunci când se modifică avansul pentru diferite viteze de așchiere (Anexa 4)

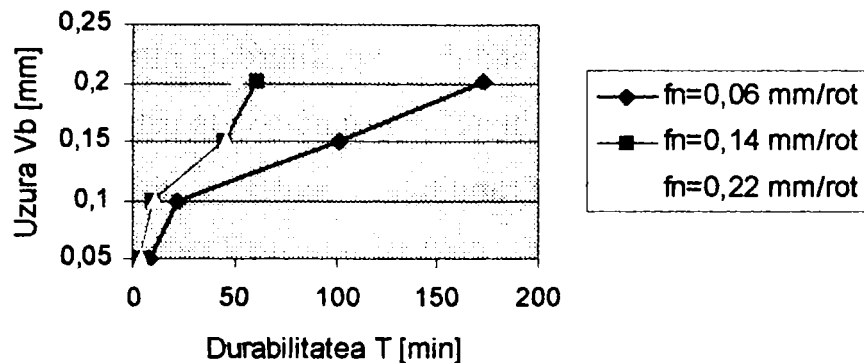


Figura 4.119. Variația durabilității cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere, $V_c=100$ m/min, $a_p=0,25$ mm pentru scula DBN 45

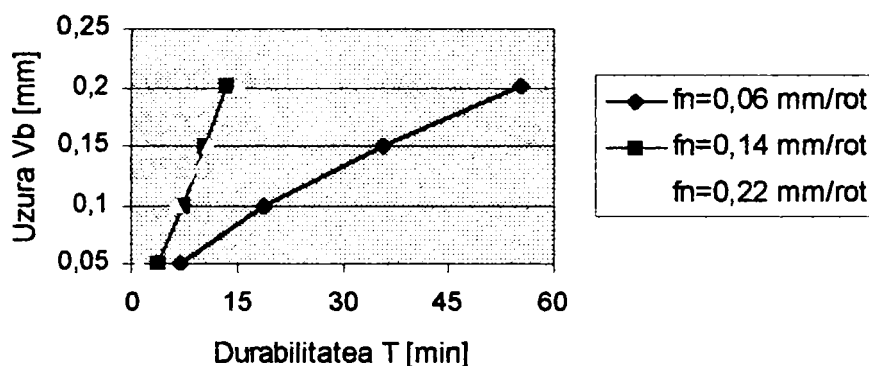


Figura 4.120. Variația durabilității cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere, $V_c=140$ m/min, $a_p=0,25$ mm pentru scula DBN 45

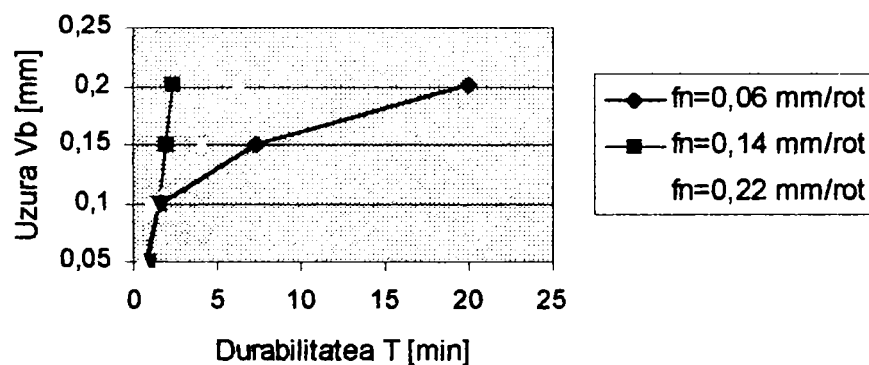


Figura 4.121. Variația durabilității cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite avansuri de așchiere, $V_c=140$ m/min, $a_p=0,25$ mm pentru scula DBN 45

În figurile 4.119 și 4.120 se vede că pentru viteze de așchiere $V_c=100$ m/min și respectiv $V_c=140$ m/min indiferent că se lucrează cu avansuri de 0,14 mm/rot sau 0,22mm/rot variația durabilității cu uzura este aceeași obținându-se valori sensibil apropiate pentru durabilitate la uzura $V_B=0,1; 0,15; 0,2$ mm. În ambele figuri se observă că durabilitățile cele mai mari s-au obținut pentru valori ale avansului de 0,06 mm/rot.

În figura 4.121 se vede că indiferent de valoarea avansului pentru $V_c=180$ m/min, uzura $V_B=0,1$ se atinge după aceeași perioadă de timp, diferența între valorile durabilității pentru cele trei valori ale avansului de așchiere realizându-se la uzura limită $V_B=0,2$ mm. În acest caz în mod surprinzător durabilitatea sculei a fost mai mare pentru $f_n=0,22$ mm/rot ($T=6,29$ min) decât pentru $f_n=0,14$ mm/rot ($T=2,38$ min). Durabilitatea maximă s-a obținut și în acest caz pentru $f_n=0,06$ mm/rot ($T=20$ min).

În figurile 4.122 - 4.130 este prezentată variația durabilității T cu uzura V_B comparativ în cazul celor patru materiale de sculă CC650, CC670, Cb7020 și DBN 45 pentru toate regimurile de așchiere utilizate în cadrul celui de-al doilea experiment.

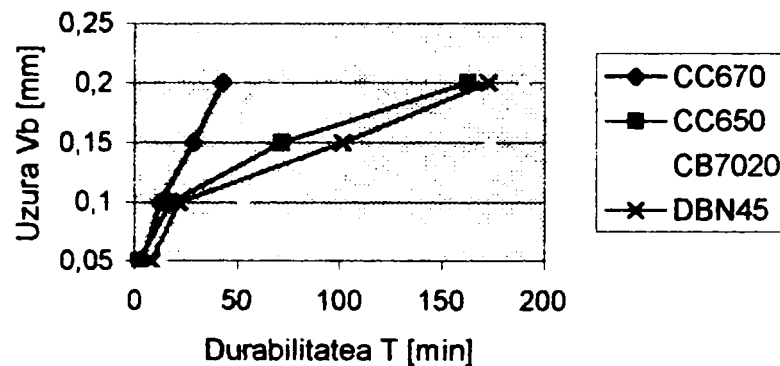


Figura 4.122. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite materiale de sculă la strunjirea cu următorul regim de așchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

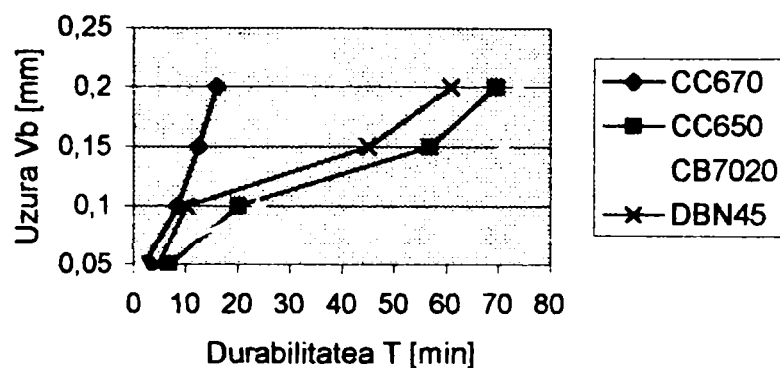


Figura 4.123. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite materiale de sculă la strunjirea cu următorul regim de așchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

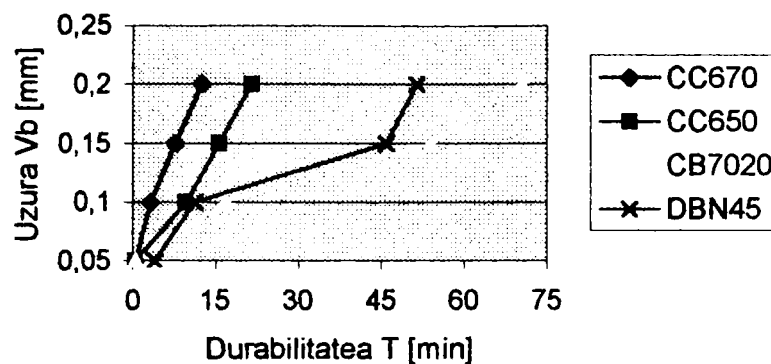


Figura 4.124. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite materiale de sculă la strunjirea cu următorul regim de așchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

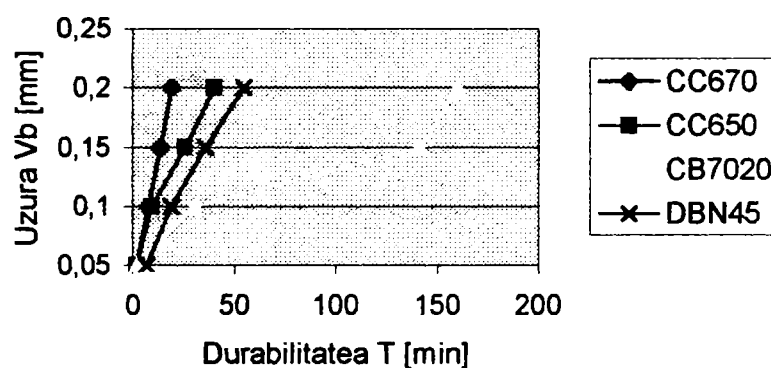


Figura 4.125. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite materiale de sculă la strunjirea cu următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

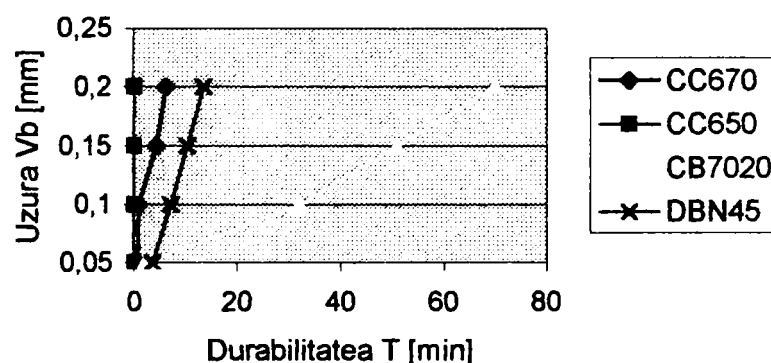


Figura 4.126. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite materiale de sculă la strunjirea cu următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

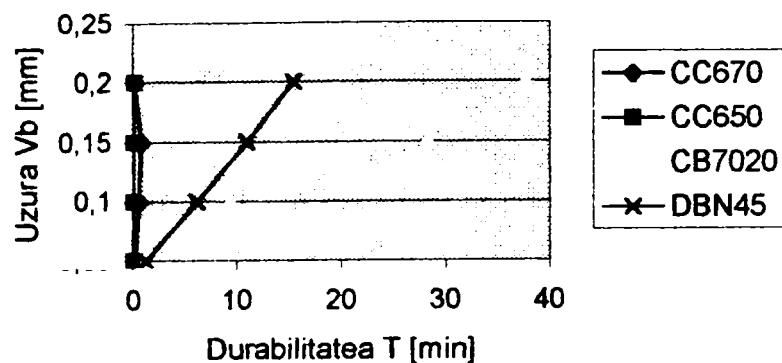


Figura 4.127. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite materiale de sculă la strunjirea cu următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

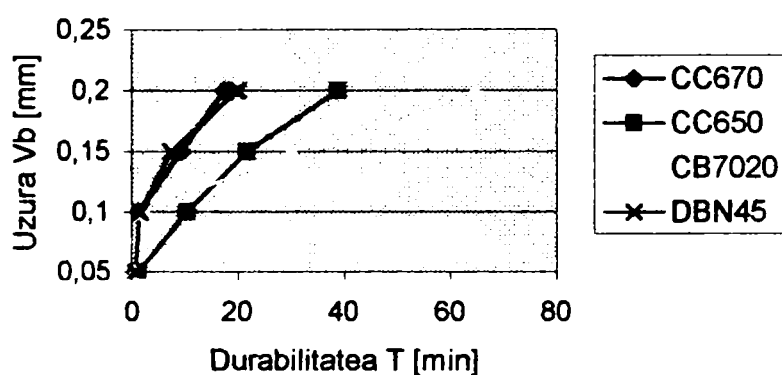


Figura 4.128. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite materiale de sculă la strunjirea cu următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

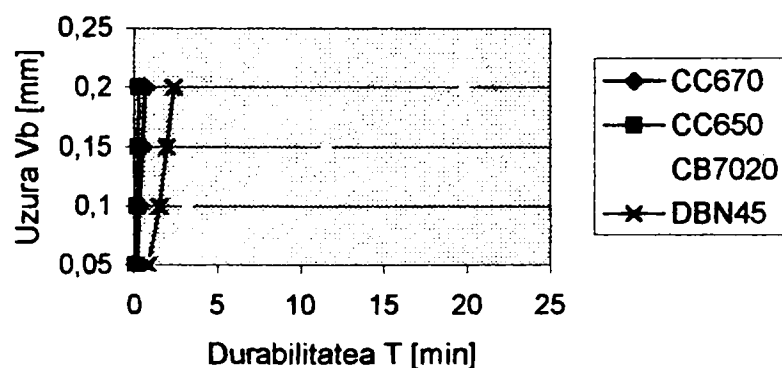


Figura 4.129. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite materiale de sculă la strunjirea cu următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

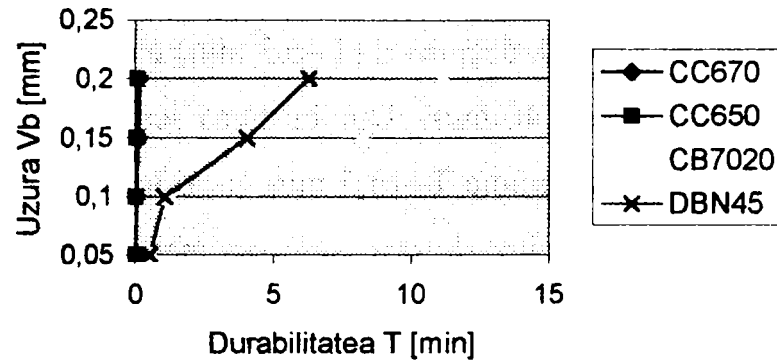


Figura 4.130. Variația durabilității T cu uzura pe fața de așezare V_B pentru diferite materiale de sculă la strunjirea cu următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min,

$$f_n=0,22\text{mm/rot}, a_p=0,25\text{ mm}$$

Analizând toate cele nouă grafice prezentate se poate aprecia că pentru toate regimurile de așchiere folosite în cadrul celui de-al doilea set de experimente, superioritatea plăcuței CB7020 este evidentă, prezentând cea mai bună durabilitate în raport cu celelalte materiale de sculă.

În figura 4.122 se observă că sculele din NCBP și ceramica CC650 au performanțe relativ apropiate care depășesc cu mult performanțele sculei din CC670.

Același lucru se poate vedea și din figura 4.123 cu deosebirea că pentru acest regim de așchiere se pare că scula CC650 prezintă o durabilitate chiar mai bună decât scula DBN45 apropiindu-se de durabilitatea sculei CB7020.

În figura 4.124 odată cu creșterea avansului de așchiere la valoarea $f_n=0,22\text{mm/rot}$ se produce o diferențiere clară între valorile durabilității sculelor din NCBP și cele ceramice. Durabilitatea pentru fiecare scula este:

- CB7020 – $T=70,39$ min
- DBN45 – $T=51,46$ min,
- CC650 – $T=21,5$ min,
- CC670 – $T=12,38$ min.

Cu alte cuvinte pentru acest regim de așchiere este vizibilă clar superioritatea sculelor din NCBP față de sculele ceramice.

În figura 4.125 se vede durabilitatea foarte mare a sculei CB7020 care atinge criteriul de uzură $V_B=0,2$ mm după $T=160$ min față de scula DBN45 unde $T=55,22$ min, iar pentru sculele ceramice valorile durabilității T se situează sub 50 min.

În figura 4.126 se vede că la o viteză de aşchiere de 140 m/min și un avans de 0,14mm/rot durabilitatea sculei CC670, deși mică ($T=6,3$ min) o depășește pe cea a sculei CC650 care este sub un minut ($T=0,240$ min). Durabilitatea sculei DBN45 este aproape dublă față de cea a sculei CC670 și anume $T=13,5$ min, iar durabilitatea sculei CB7020 este net superioară tuturor $T=70,34$ min, de cca. șase ori mai mare decât durabilitatea celeilalte scule din NCBP- DBN45.

În figura 4.127 poate fi observat faptul că la un avans de aşchiere de 0,22 mm/rot durabilitatea sculelor ceramice este sub un minut lucru care ne confirmă că aceste scule nu pot fi folosite cu un astfel de regim de aşchiere. Durabilitatea mai ridicată a sculelor din NCBP poate fi pusă pe seama unei fragilități mai scăzute a acestora comparativ cu ceramicele. Trebuie subliniată totuși diferența care există și între sculele din NCBP, dat fiind faptul că durabilitatea sculei CB7020 este de cca. 2,5 ori mai mare decât a sculei DBN45.

În figura 4.128 la viteze de 180 m/min și avansuri de 0,06 mm/rot se vede că durabilitatea sculei CC650 până la atingerea uzurii $V_B=0,1$ mm este superioară tuturor celorlalte materiale de sculă fiind depășită atunci când se atinge criteriul de uzură limită $V_B=0,2$ mm, doar de plăcuța CB7020. De menționat că pentru acest regim de aşchiere graficele de variație a durabilității sculei cu uzura V_B pentru plăcuțele CC670 și DBN 45 se suprapun aproape în totalitate, performanțele lor fiind depășite atât de scula CB7020 cât și de ceramica CC650. Cu alte cuvinte pentru oțelul 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC și folosind acest regim de aşchiere, utilizarea sculei DBN45 nu este economică dată fiind durabilitatea scăzută a acestei scule și prețul de cost mult mai mare decât al sculei CC650.

În figura 4.129 se vede că dacă se crește valoarea avansului la $f_n=0,14$ mm/rot, durabilitatea sculelor ceramice este din nou afectată puternic, obținându-se valori ale acesteia sub un minut. Acest lucru ar putea fi explicat prin rezistența mai scăzută la șocurile mecanice datorate eventualelor vibrații ce pot lua naștere în procesul de aşchiere atunci când se mărește valoarea avansului. Sculele din NCBP prezintă în ciuda durității foarte mari și o tenacitate mai bună comparativ cu ceramicele. La fel ca în cazul precedent este vizibilă durabilitatea mult superioară a sculei CB7020 ($T=19,8$ min) față de cea a sculei DBN45 ($T=2,38$ min).

În figura 4.130 utilizând un avans de 0,22 mm/rot, se păstrează aceeași tendință pentru materialele ceramice, probabil din aceleași considerente menționate mai sus mai ales că valoarea avansului este și mai mare decât în cazul precedent. Și în acest caz sculele din NCBP își dovedesc superioritatea, existând și între ele totuși o diferență semnificativă în favoarea sculei CB7020.

În figurile 4.131, 4.132 și 4.133 este prezentată variația durabilității sculei cu viteza de așchiere pentru toate cele patru tipuri de materiale de sculă utilizate și pentru diferite valori ale avansului de așchiere.

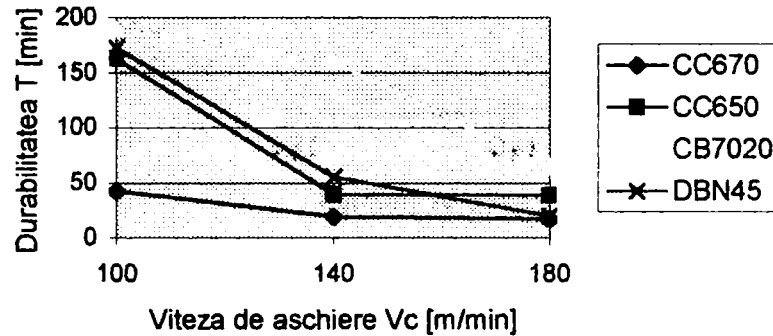


Figura 4.131. Variația durabilității cu viteza de așchiere pentru diferite tipuri de scule așchietoare cu următorul regim de așchiere $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Din figura 4.131 se poate aprecia că la viteze mici de așchiere $V_c=100$ m/min, durabilitatea T pentru CC650 și sculele din NCBP sunt foarte apropiate, iar odată cu creșterea vitezei de așchiere se observă o diminuare a durabilității sculei pentru toate materialele de sculă utilizate. Se poate observa o diferență mare a valorii durabilității, în favoarea sculei CB7020 față de celelalte materiale de sculă la viteza $V_c=140$ m/min.

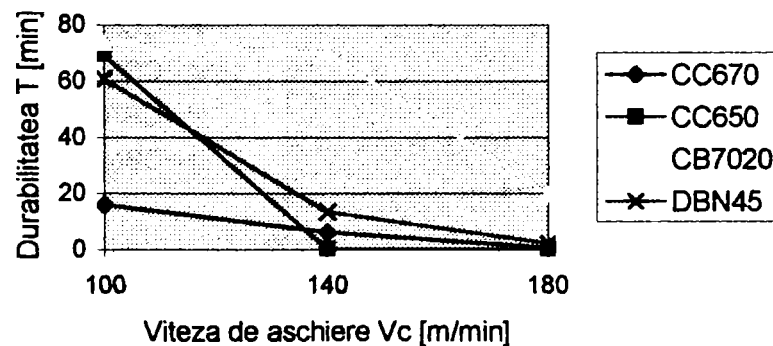


Figura 4.132. Variația durabilității cu viteza de așchiere pentru diferite tipuri de scule așchietoare cu următorul regim de așchiere $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Figura 4.132 prezintă graficul cu variația durabilității în funcție de viteza de așchiere pentru o valoare mai mare a avansului de așchiere $f_n=0,14$ mm/rot. Graficul are aproximativ aceeași alură ca și cel anterior detașându-se valori mai mari pentru durabilitatea sculei CB7020 față de celelalte materiale de sculă pentru viteze ce depășesc 100 m/min. Dacă se lucrează în gama de viteze 140-180 m/min se vede că performanțele sculei DBN45 sunt foarte apropiate de cele ale ceramicelor.

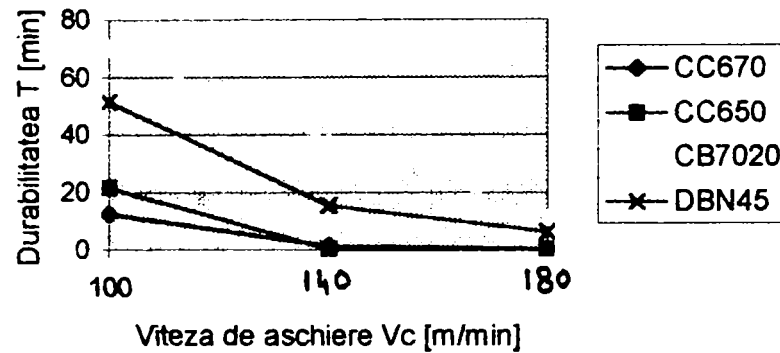


Figura 4.133. Variația durabilității cu viteza de așchiere pentru diferite tipuri de scule așchietoare cu următorul regim de așchiere $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Analizând figura 4.133 se poate constata că pentru un avans de 0,22 mm/rot și o viteză de așchiere de 100 m/min există o diferențiere a valorilor durabilității între sculele ceramice și cele din NCBP, pentru ca odată cu creșterea vitezei până la 180 m/min durabilitatea tuturor sculelor să fie foarte scăzută.

În figurile 4.134, 4.135 și 4.136 se prezintă variația durabilității cu avansul de așchiere pentru toate materialele de sculă utilizate, folosind diferite viteze de așchiere.

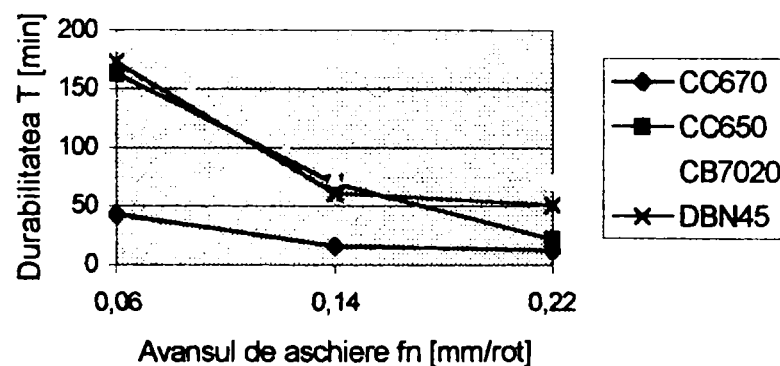


Figura 4.134. Variația durabilității cu avansul de așchiere pentru diferite tipuri de scule așchietoare cu următorul regim de așchiere: $V_c=100$ m/min, $a_p=0,25$ mm.

În figura 4.135 se poate vedea că pentru $V_c=100$ m/min performanțele sculelor din NCBP și ale ceramicei CC650 sunt relativ apropiate când se așchiază în gama de avansuri $f_n=0,06-0,14$ mm/rot și sunt superioare ceramicei CC670. La creșterea avansului la valoarea $f_n=0,22$ mm/rot se produce o diferențiere a durabilității sculelor din NCBP față de scula CC650, în sensul că sculele din NCBP prezintă o durabilitate superioară sculei CC650 și implicit sculei CC670.

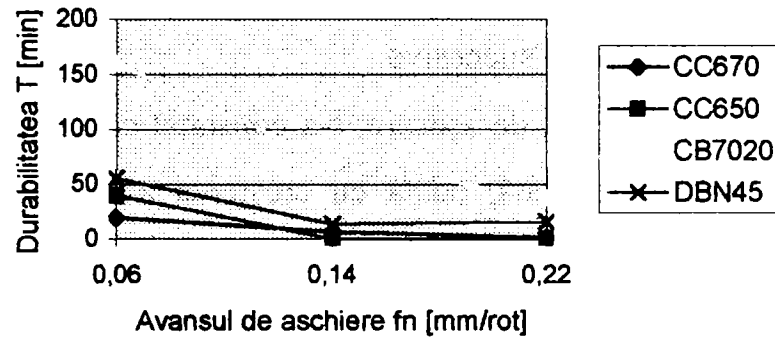


Figura 4.136. Variația durabilității cu avansul de așchiere pentru diferite tipuri de scule așchietoare cu următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $a_p=0,25$ mm.

În figura 4.136 se observă superioritatea plăcuței CB7020 față de celelalte trei materiale de sculă în special în gama de avansuri $f_n=0,06-0,14$ mm/rot. Pentru întreaga gamă de avansuri, se observă că performanțele sculei DBN45 sunt apropiate de cele ale ceramicelor.

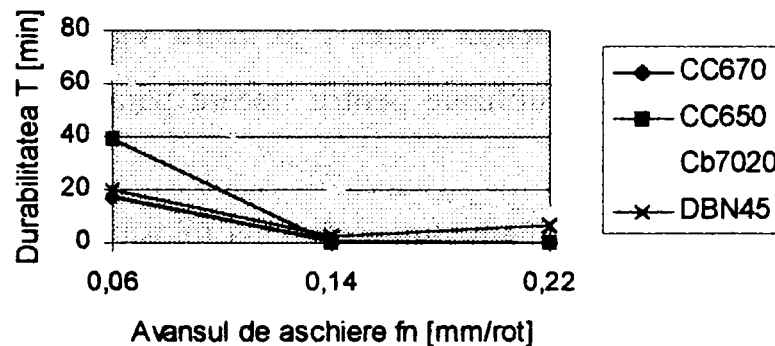


Figura 4.137. Variația durabilității cu avansul de așchiere pentru diferite tipuri de scule așchietoare cu următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min, $a_p=0,25$ mm.

Din figura 4.137 se vede că la valori mici ale avansului durabilitatea sculei CC650 este superioară sculei DBN45, ajungând ca la $f_n=0,14$ mm/rot, valorile durabilității celor două tipuri de sculă să fie relativ apropiate, iar la $f_n=0,22$ mm/rot, durabilitatea sculei DBN45 să fie mai mare ($T=6,29$ min, față de $T=0,096$ min pentru CC650).

Performanțele sculei CB7020 se dovedesc și în acest caz ca fiind cele mai bune, la polul opus aflându-se scula CC670.

Concluzii

Analizând rezultatele înregistrate se poate concluziona că:

- Pentru primul experiment s-a observat că o creștere a vitezei de așchiere conduce la o accelerare a fenomenului de uzură la fel ca și creșterea avansului de așchiere. Atât pentru avansuri mari cât și pentru avansuri mici există o tendință de uzură pe fața de degajare prin exfoliere de straturi succesive.
- În ceea ce privește uzura pe fața de așezare, s-a constatat că dacă la avansuri mici uzura are o formă relativ regulată, odată cu creșterea avansului de așchiere se produc ciobituri în materialul sculei datorită vibrațiilor ce iau naștere în procesul de așchiere. La variația adâncimii de așchiere uzura atât pe fața de degajare cât și pe fața de așezare a sculei păstrează o formă regulată. Craterul de uzură se produce în imediata vecinătate a muchiei așchietoare, producând practic o „reascuțire” a acesteia. Acest lucru permite obținerea unei valori scăzute pentru rugozitatea R_a , chiar în cazul utilizării unei adâncimi de așchiere $a_p=0,41$ mm când s-a obținut $R_a=0,72$ μm .
- Durabilitatea sculei este invers proporțională cu oricare din parametrii regimului de așchiere. S-a observat și în acest caz că indiferent de parametrul de așchiere variat, cel mai bun raport între durabilitatea sculei T și uzura V_B pe fața de așezare se obține pentru valorile minime utilizate pentru fiecare parametru al regimului de așchiere.
- În cazul celui de-al doilea experiment atunci când s-a folosit regimul de așchiere cu $V_c=100\text{m/min}$, $f_n=0,06$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm, s-a constatat că pentru toate materialele de sculă utilizate, uzura a prezentat o formă regulată. Pentru sculele din nitrură cubică de bor policristalină uzura pe fața de degajare nu a depășit lățimea fațetei și s-a extins până în vecinătatea muchiei așchietoare. În cazul sculei CC650 s-a observat formarea unui strat acoperitor pe fața de așezare care prezintă niște șanțuri orientate pe direcția principală de așchiere. Acest lucru este o confirmare a faptului că uzura de adeziune joacă un rol important în cazul acestui material de sculă pentru regimul de așchiere folosit la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC. Pentru celelalte trei materiale de sculă CC670, CB7020 și DBN45 s-a

putut observa că uzura prin abraziune constituie mecanismul dominant de uzură pe fața de așezare a sculei.

- Atunci când s-a utilizat regimul de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot și $a_p=0,25$ m, mărindu-se practic valoarea vitezei de așchiere de la 100 m/min la 180 m/min față de cazul precedent s-a văzut că uzura pentru materialele ceramice are aceeași formă. Pe fața de așezare s-a depus un strat de metal topit care pune în evidență fenomenul de adeziune dintre materialul semifabricatului și suprafața sculei așchietoare. De asemenea în craterul de uzură apărut pe suprafața de degajare, în cazul celor două materiale ceramice au fost prezente urme de metal topit. Acest lucru ne conduce la concluzia că temperatura în zona de așchiere a fost suficient de mare pentru a declanșa mecanismul uzurii prin difuziune.
- În cazul utilizării unui regim de așchiere cu un avans mărit: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm au fost evidențiate la majoritatea sculelor utilizate ciobituri ale sculei pe fața de așezare. O posibilă explicație în acest caz ar putea fi apariția vibrațiilor în procesul de așchiere, datorită folosirii unei rate mari a avansului de așchiere, care conduce la distrugerea prematură a sculelor. Atât sculele ceramice cât și cele din nitrură cubică de bor policristalină sunt cunoscute ca având o rezistență scăzută la șocuri mecanice.
- Referitor la durabilitatea celor patru materiale de sculă se poate aprecia în urma rezultatelor înregistrate că cele mai bune performanțe s-au obținut pentru valori ale vitezei de așchiere $V_c=100$ m/min și pentru avansul de așchiere $f_n=0,06$ mm/rot. Făcând o comparație între durabilitățile celor patru materiale de sculă utilizate se evidențiază rezultatele obținute cu scula CB7020 care s-a dovedit a fi superioară din punct de vedere al durabilității sculei, tuturor celorlalte trei materiale de sculă pentru întreaga gamă de regimuri de așchiere folosite.
- Analizând influența materialului sculei asupra rugozității suprafeței așchiate se poate distinge un ușor avantaj în favoarea sculelor DBN45 și DBC50, lucru ce vine să confirme faptul că sculele din NCBP cu un conținut mai redus de nitrură cubică de bor (cca. 50%) sunt capabile de performanțe mai bune în ceea ce privește rugozitatea suprafețelor așchiate decât sculele ceramice.

4.4. Cercetări privind influența parametrilor regimului de așchiere și a materialului sculei asupra preciziei de prelucrare

Așa cum s-a menționat în capitolul 3, paragraful 3.1, pentru această etapă de experimente s-au folosit cinci materiale de sculă, în sensul că pe lângă cele patru utilizate anterior și anume ceramicele CC650, CC670 și sculele din NCBP CB7020 și DBN45 s-a mai adăugat și un al cincilea material tot din NCBP și anume DBC50. Acesta din urmă este la fel ca și DBN45 un produs al firmei De Beers Industrial Diamond Tool Division. Plăcuța din DBC50 a avut aceeași geometrie ca și celelalte patru plăcuțe așchietoare TNGN 160408 T01020. Tot în paragraful 3.1 s-a arătat că materialul de prelucrat a fost împărțit în cinci piese corespunzătoare fiecărui material de sculă folosit, iar la rândul lor fiecare din cele cinci piese a fost împărțit în opt tronsoane de lungime 10-12 mm care au fost prelucrate fiecare cu un anumit regim de așchiere. Au fost folosite o parte din regimurile de așchiere folosite în cadrul celui de-al doilea experiment factorial. De menționat că pentru fiecare piesă în parte s-a folosit o plăcuță nouă cu uzura $V_B=0$ mm, cu care s-a realizat o trecere pe toate cele 8 tronsoane din figura 3.4. Toate plăcuțele utilizate au avut aceeași geometrie. Cu alte cuvinte în cadrul acestui experiment nu s-a luat în considerare influența uzurii asupra preciziei de prelucrare. În urma finalizării testelor s-a măsurat rugozitatea și abaterea de la circularitate pentru fiecare tronson împarte. adică pentru fiecare regim de așchiere utilizat. Au fost utilizate opt variante de regimuri de așchiere după cum urmează:

- R1 - $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- R2 - $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- R3 - $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- R4 - $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- R5 - $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R6 - $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R7 - $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R8 - $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,

În total au fost realizate $5 \times 8 = 40$ de teste deoarece s-a lucrat cu cinci materiale de sculă și opt regimuri de așchiere diferite. Cu alte cuvinte s-au înregistrat 40 de măsurători pentru rugozitate și pentru abaterea de la circularitate. În cele ce urmează sunt prezentate

valorile obținute pentru rugozitate și abaterea la circularitate pentru fiecare material de sculă utilizat în funcție de regimul de așchiere folosit. În figurile 4.138, 4.139, 4.140, 4.141 și 4.142 sunt prezentate valorile rugozității Ra, Rz și Rmax înregistrate cu ajutorul rugozimetrului Perthometer S4P V2.2 pentru cele cinci materiale de sculă folosite în cadrul testelor pentru primul regim de așchiere R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0.5$ mm, toate plăcuțele având uzura $V_B=0$.

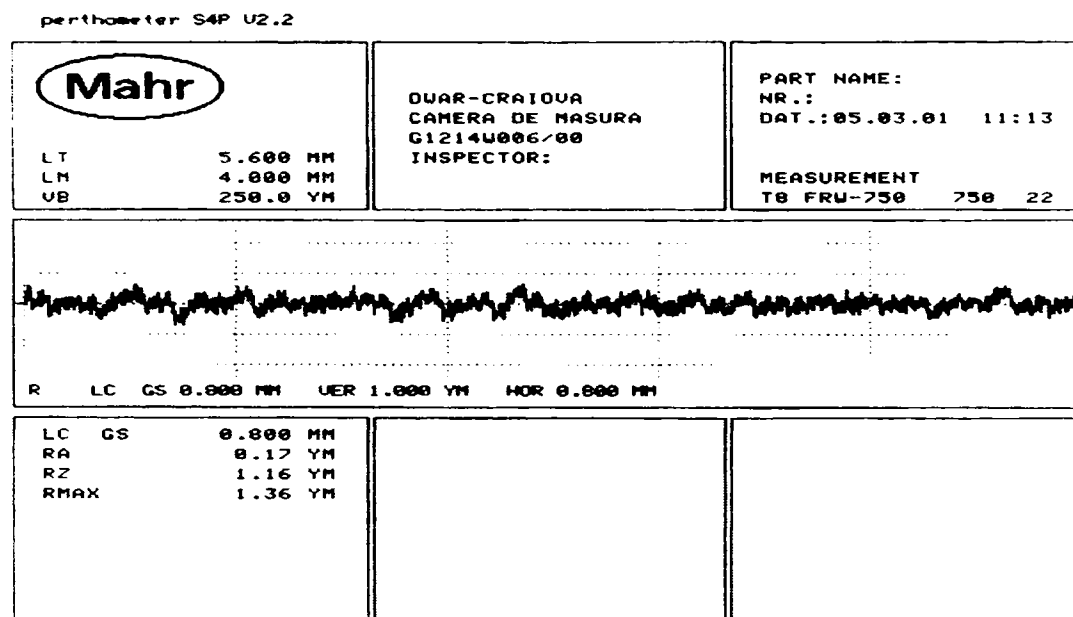


Figura 4.138. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC670 cu regimul de așchiere R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

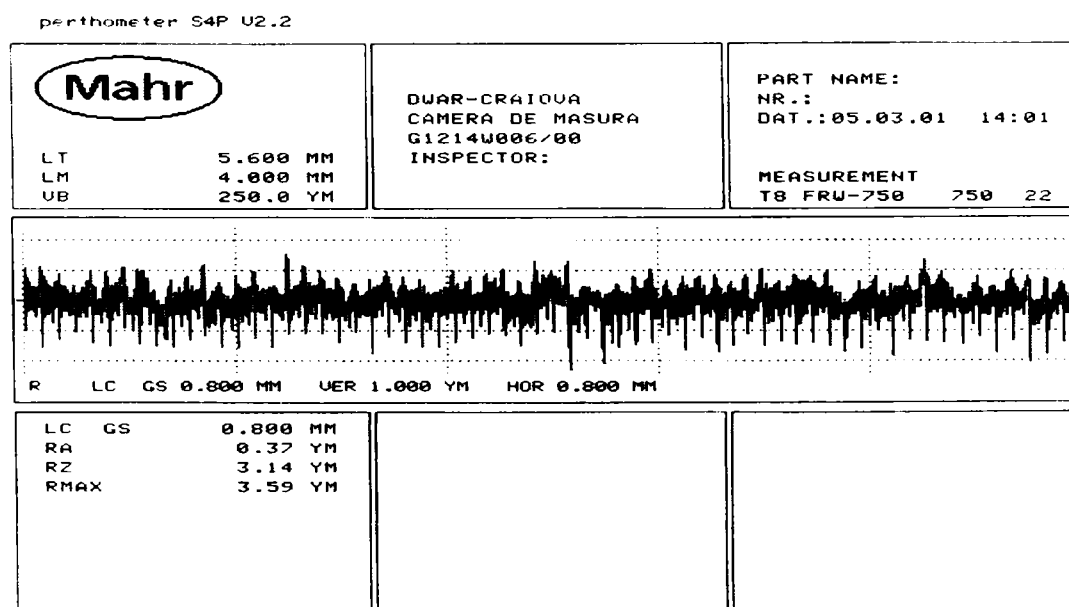


Figura 4.139. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC650 cu regimul de așchiere R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

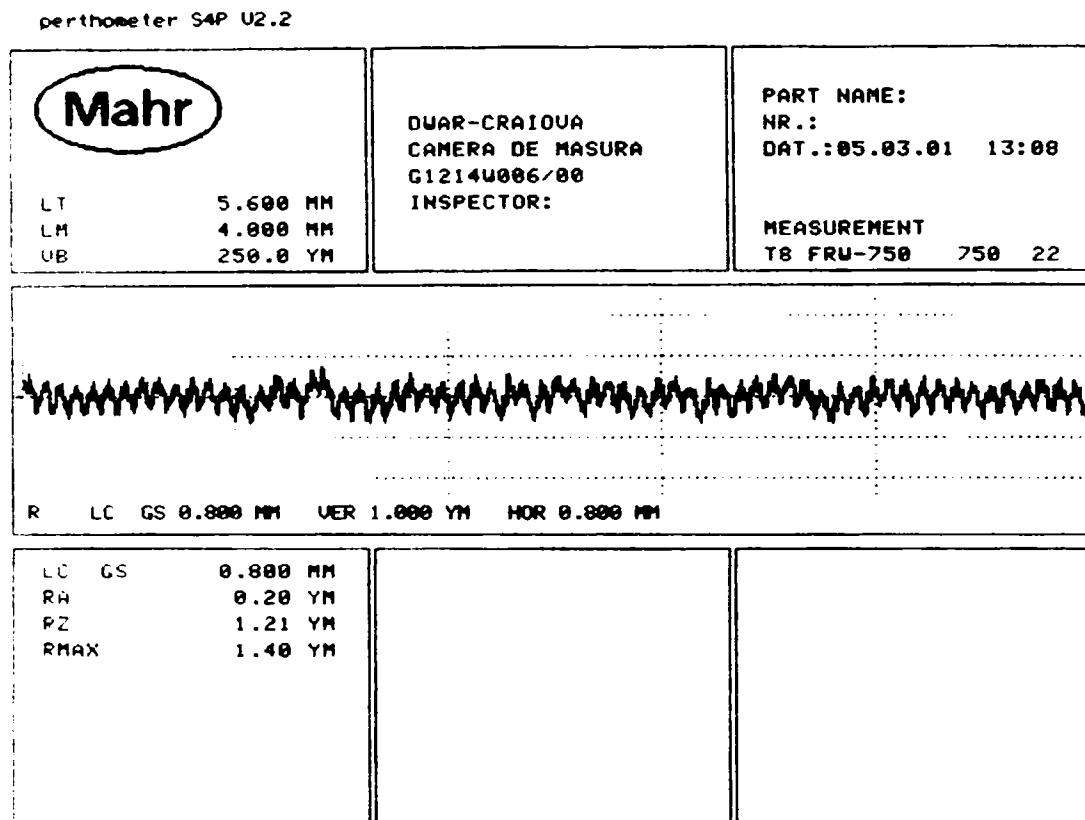


Figura 4.140. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CB7020 cu regimul de așchiere

R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

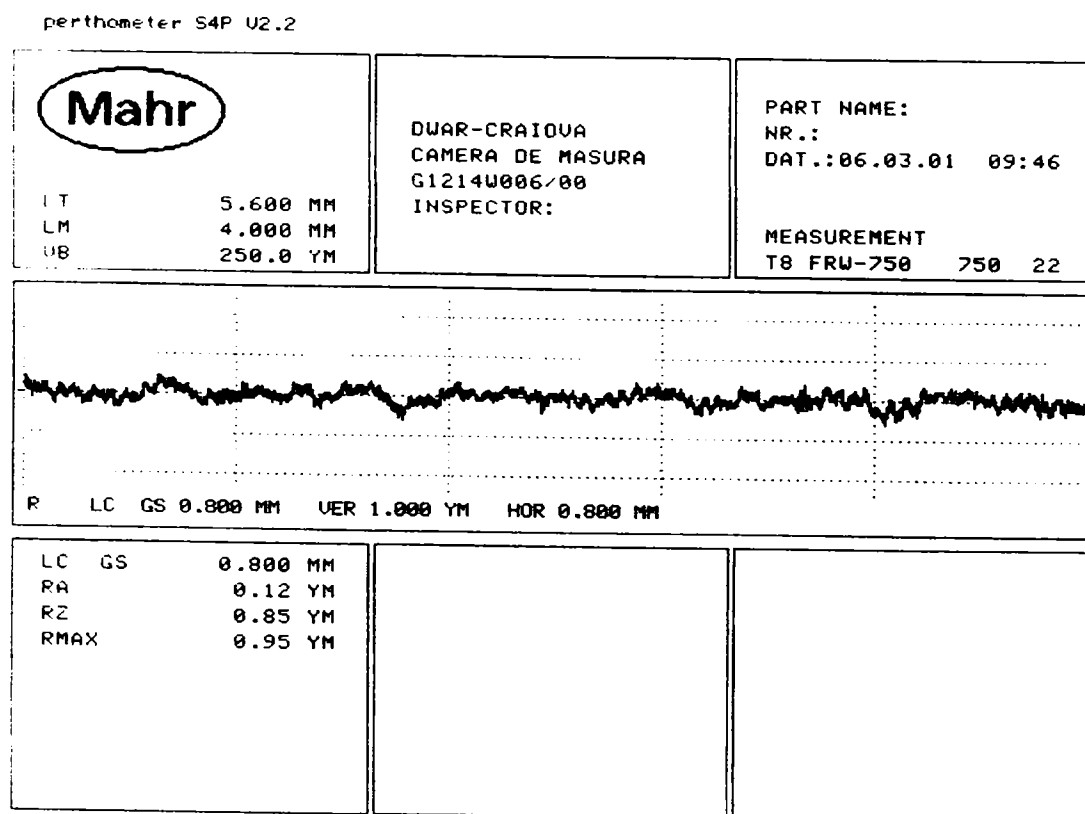


Figura 4.141. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBN45 cu regimul de așchiere

R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

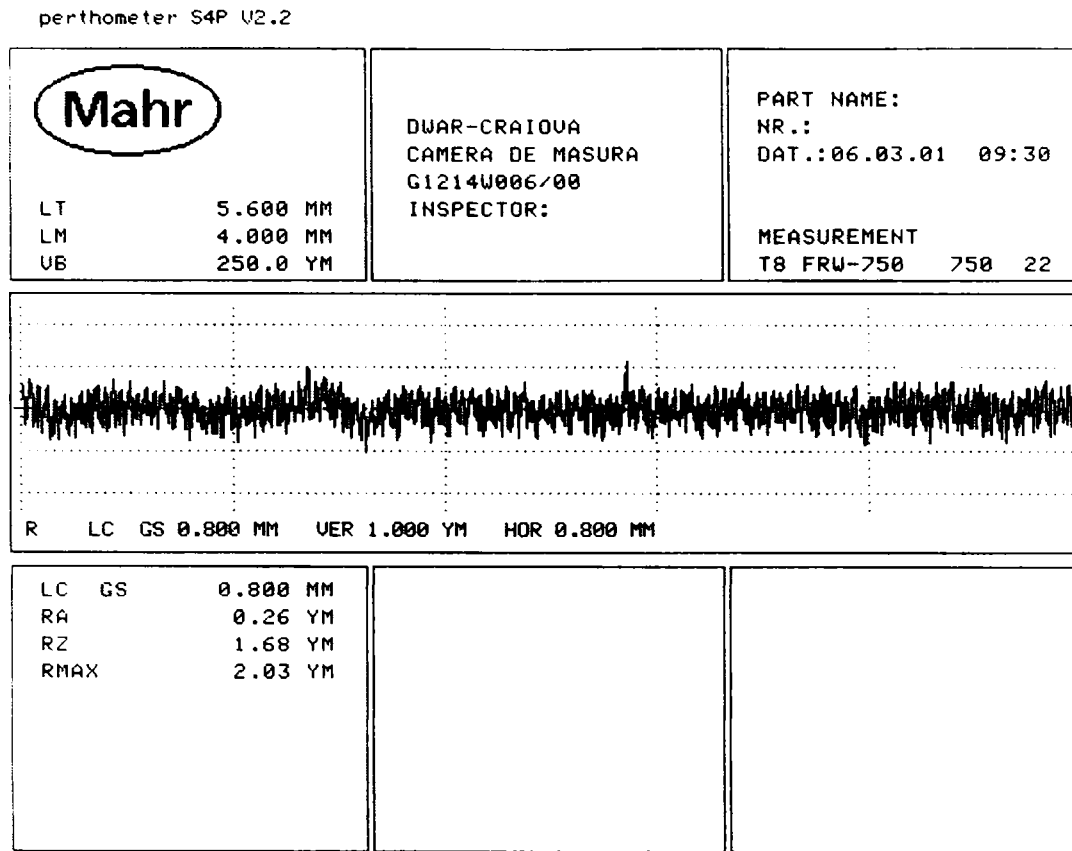


Figura 4.142. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBC50 cu regimul de așchiere

$$R1: V_c=100 \text{ m/min}, f_n=0,06 \text{ mm/rot}, a_p=0,5 \text{ mm}$$

Din cele cinci figuri prezentate se observă că pentru cazul primului regim de așchiere utilizat rugozitățile suprafețelor așchiate cu CC670 ($R_a=0,17 \mu\text{m}$), CB7020 ($R_a=0,20 \mu\text{m}$) și DBC50 ($R_a=0,26 \mu\text{m}$) au valori foarte apropiate. O rugozitate mai bună $R_a=0,12 \mu\text{m}$ s-a înregistrat cu scula din DBN45, iar rugozitatea cea mai mare $R_a=0,37 \mu\text{m}$ s-a înregistrat cu scula CC650.

În figurile următoare se prezintă rugozitatea pentru cele cinci materiale de sculă pentru al doilea regim de așchiere utilizat, când a fost crescută valoarea avansului de la 0,06mm/rot la 0,22 mm/rot păstrându-se constanți ceilalți doi parametri ai regimului de așchiere: R2- $V_c=100 \text{ m/min}, f_n=0,22 \text{ mm/rot}, a_p=0,5 \text{ mm}$.

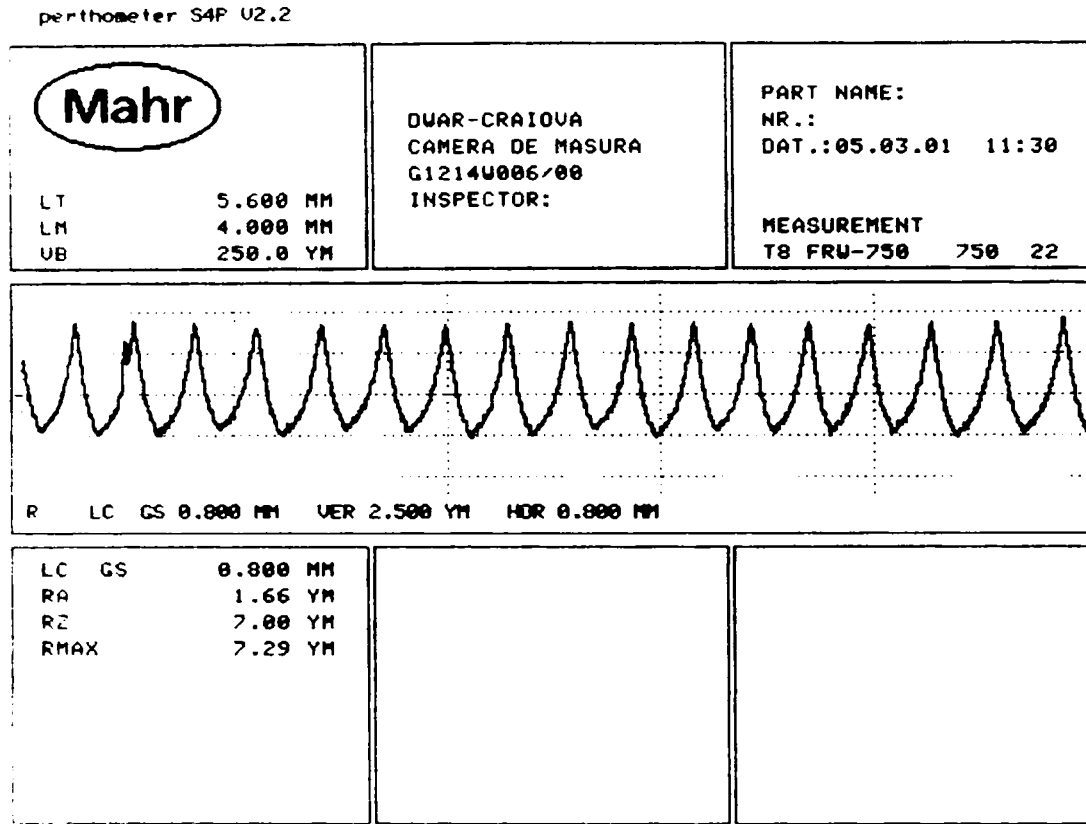


Figura 4.143. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC670 cu regimul de așchiere

R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

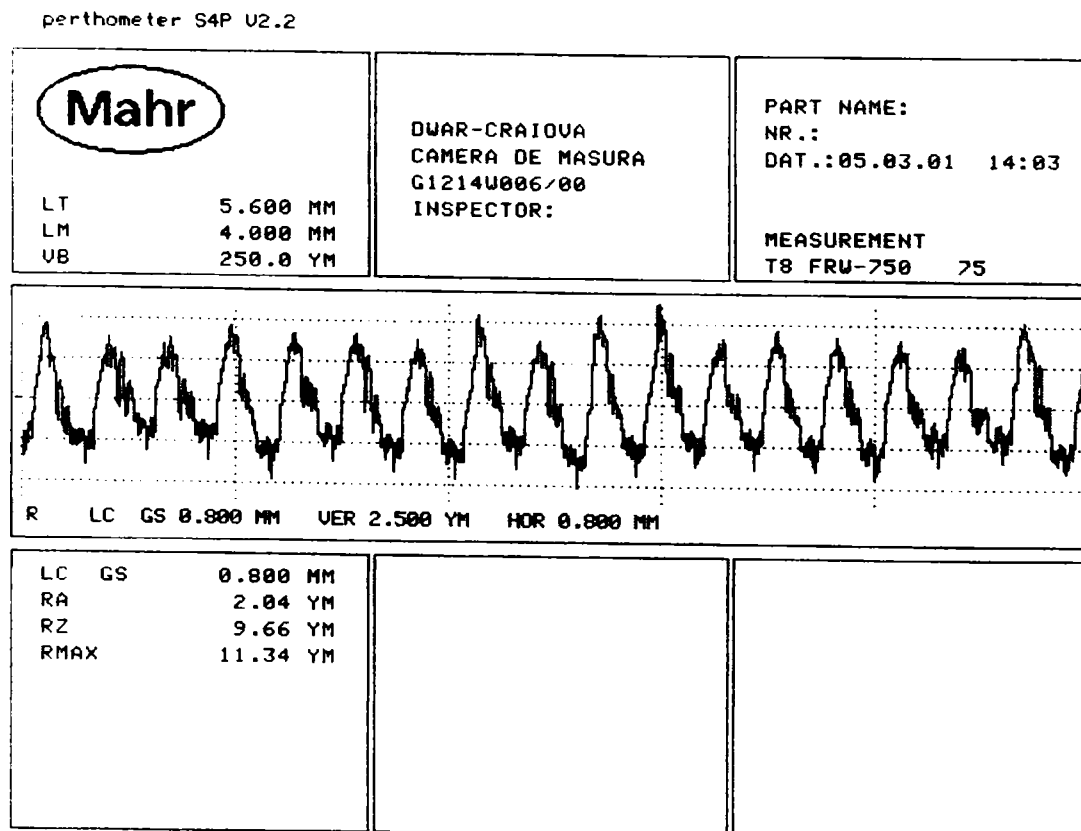


Figura 4.144. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC670 cu regimul de așchiere

R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

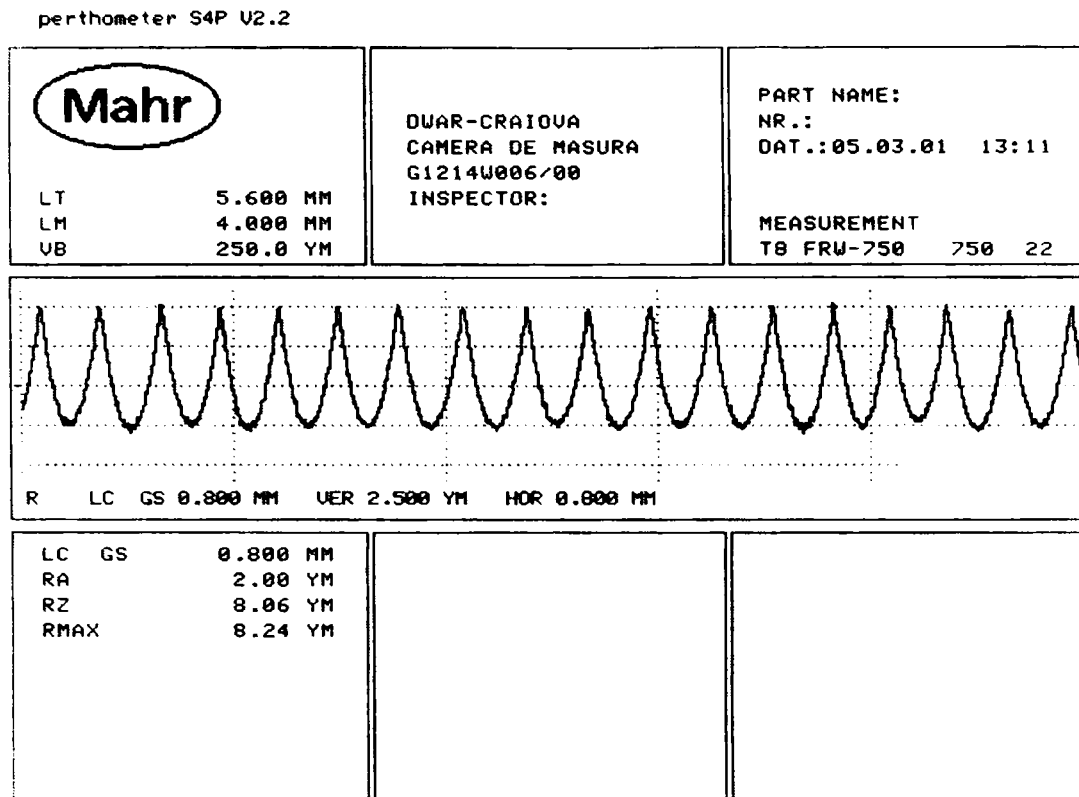


Figura 4.145. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CB7020 cu regimul de așchiere

R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

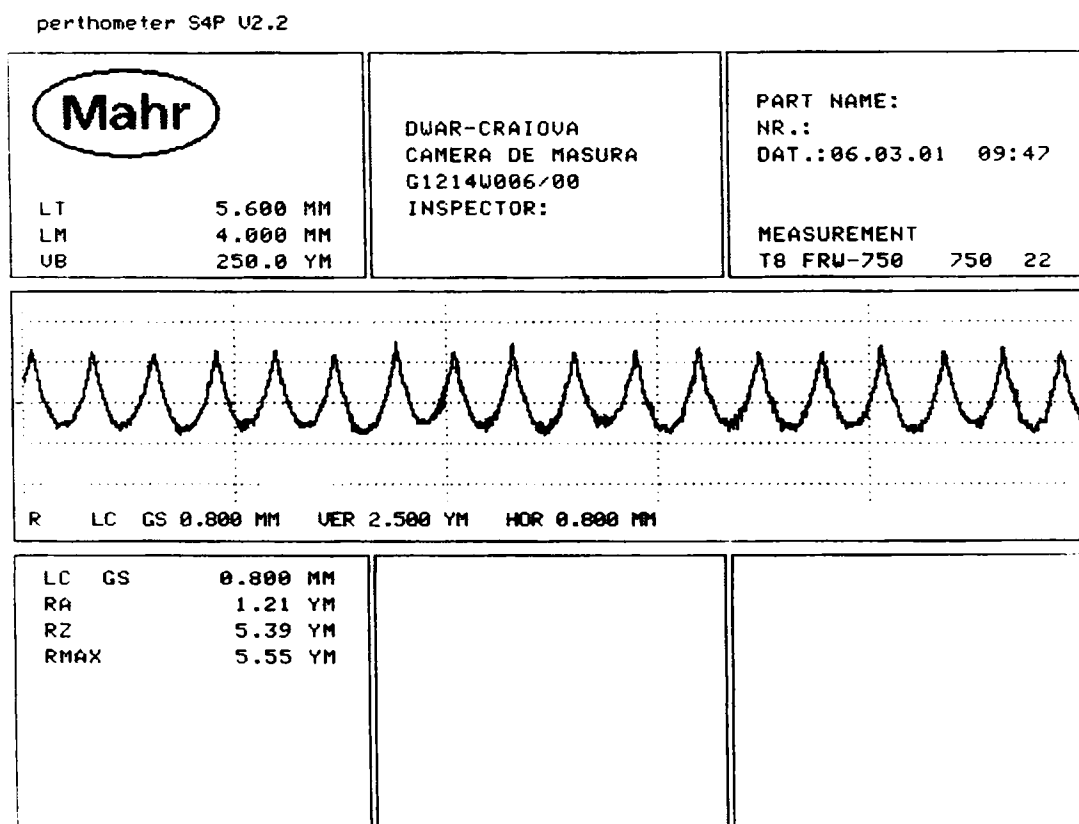


Figura 4.146. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBN45 cu regimul de așchiere

R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

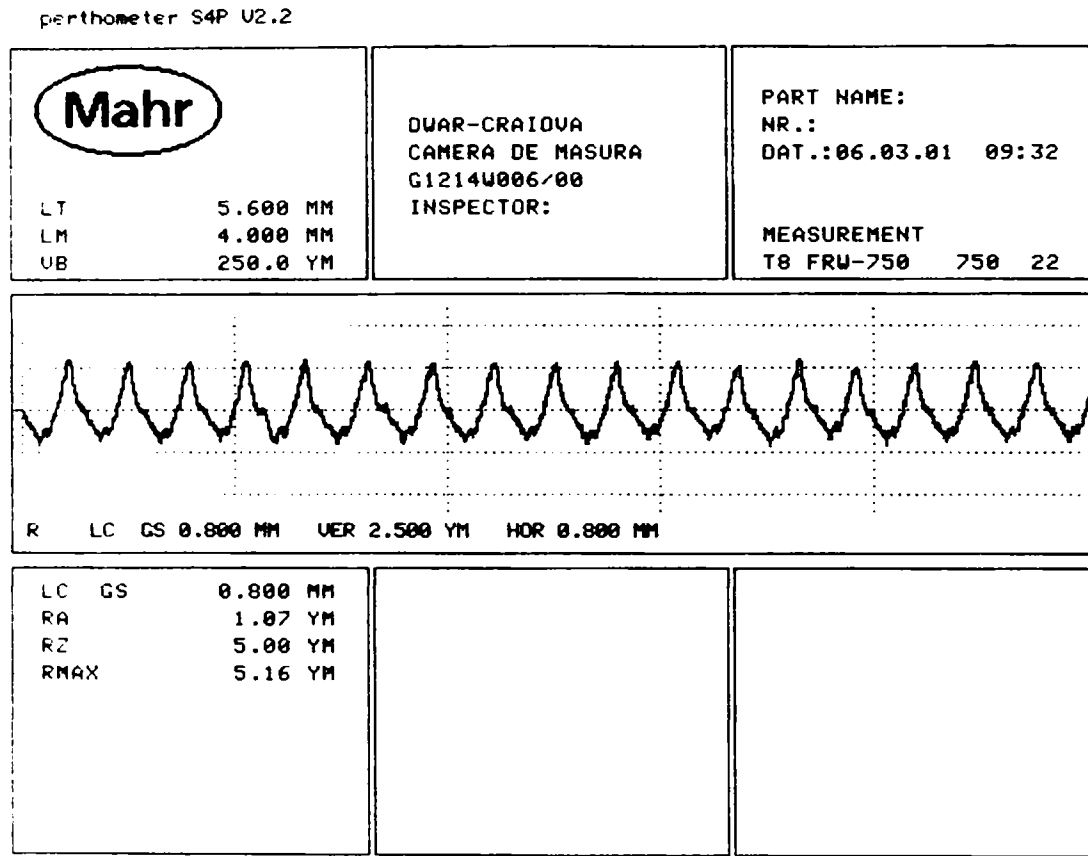


Figura 4.147. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBC50 cu regimul de așchiere

R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

Rezultatele înregistrate pentru rugozitate atunci când s-au utilizat regimurile R1 și R2 pentru toate tipurile de materiale de sculă utilizate sunt prezentate în tabelul 4.4.1.

Tabel 4.35. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R1 și R2

Regim de așchiere Material sculă	R1 $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot $a_p=0,5$ mm	R2 $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot $a_p=0,5$ mm
	CC670	0,17
CC650	0,37	2,04
CB7020	0,20	2,00
DBN45	0,12	1,21
DBC50	0,26	1,07

Din tabelul 4.35. se observă clar că odată cu creșterea avansului de la 0,06 la 0.22mm/rot. în toate cazurile indiferent de scula așchietoare a avut loc așa cum era de

așteptat o creștere semnificativă a rugozității suprafeței de cca. 8-10 ori. În ceea ce privește influența materialului de sculă asupra rugozității se poate aprecia că sculele din nitrură cubică de bor policristalină DBN45 și DBC50 au cele mai bune performanțe, obținându-se cu ajutorul lor rugozități mai mici decât în cazul utilizării materialelor ceramice și a plăcuței CB7020.

În figurile 4.148- 4.152 este prezentată valoarea rugozității suprafeței așchiate pentru fiecare material de sculă împarte atunci când s-a utilizat regimul de așchiere R3: $V_c=180\text{m/min}$, $f_n=0,06\text{ mm/rot}$, $a_p=0,5\text{ mm}$.

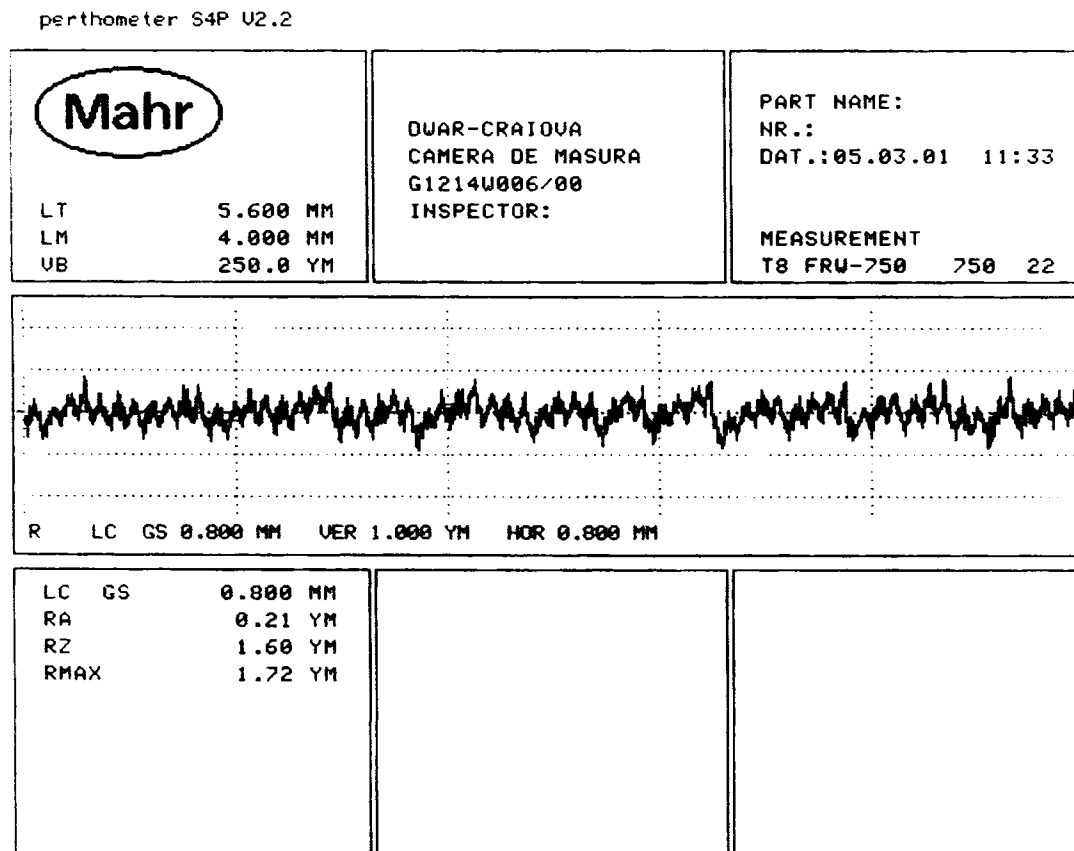


Figura 4.148. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC670 cu regimul de așchiere

R3: $V_c=180\text{ m/min}$, $f_n=0,06\text{ mm/rot}$, $a_p=0,5\text{ mm}$.

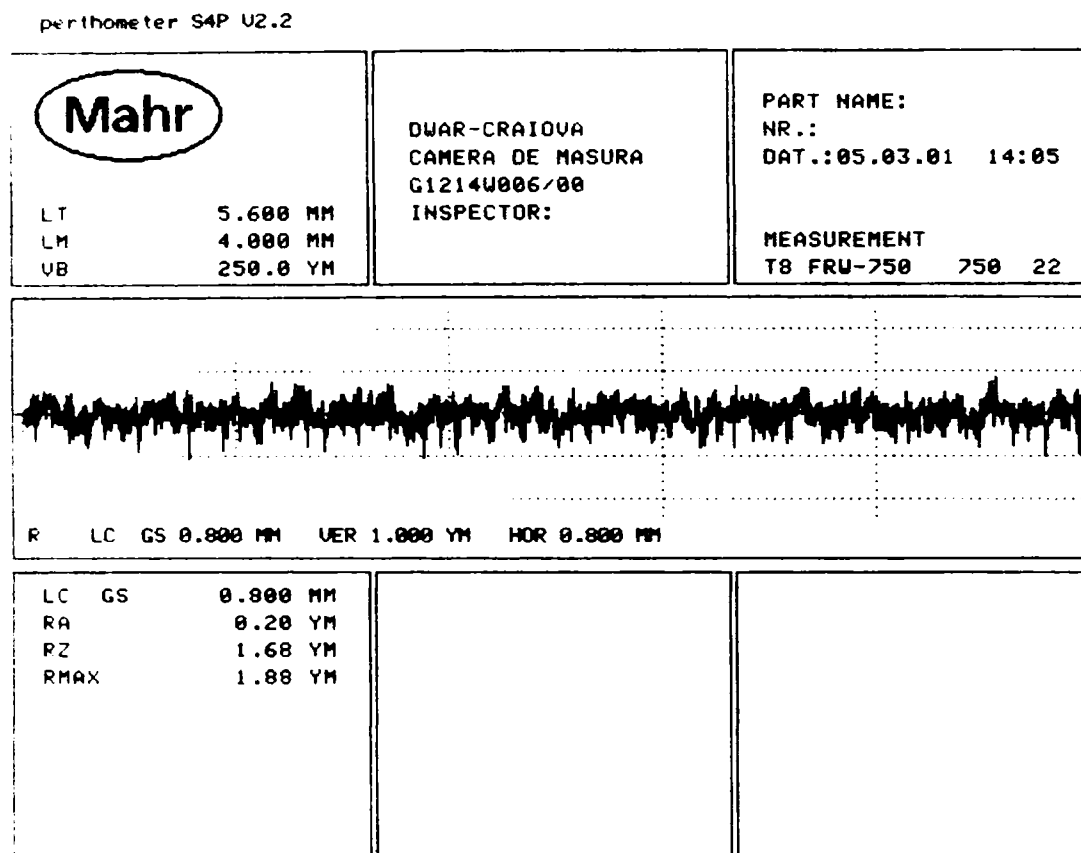


Figura 4.149. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC650 cu regimul de așchiere

R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm.

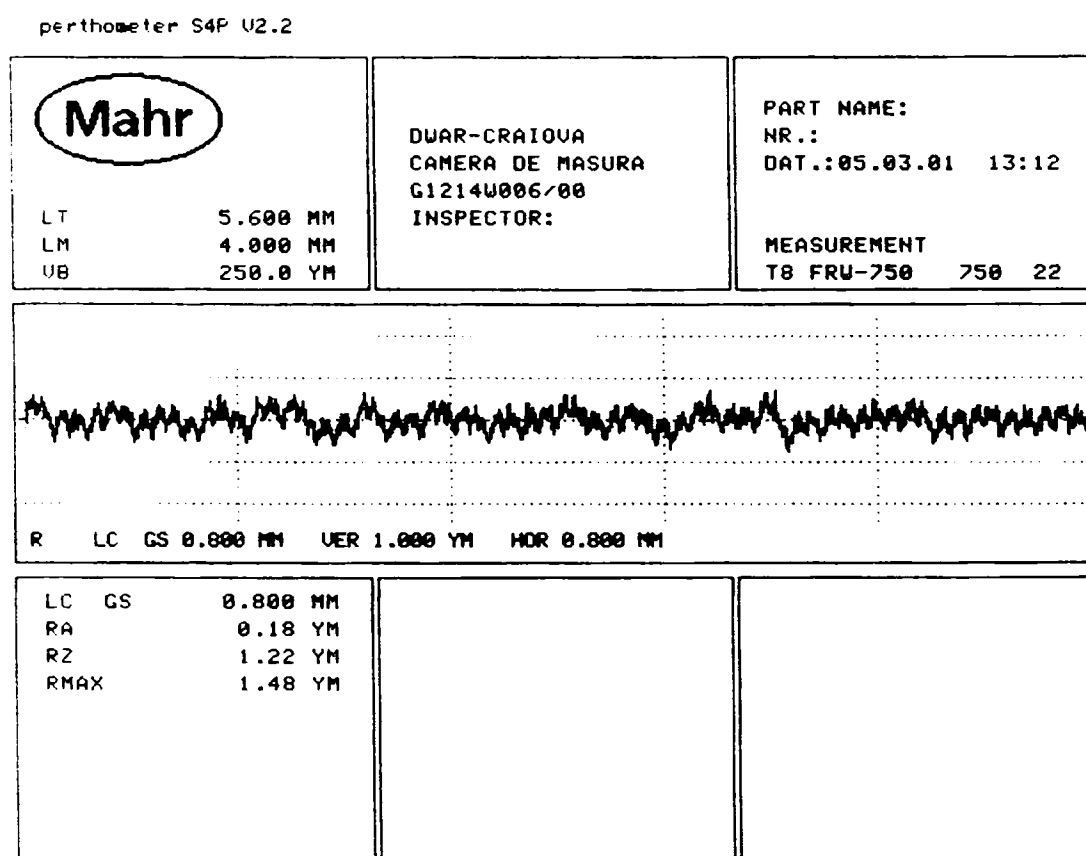


Figura 4.150. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CB7020 cu regimul de așchiere

R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm.

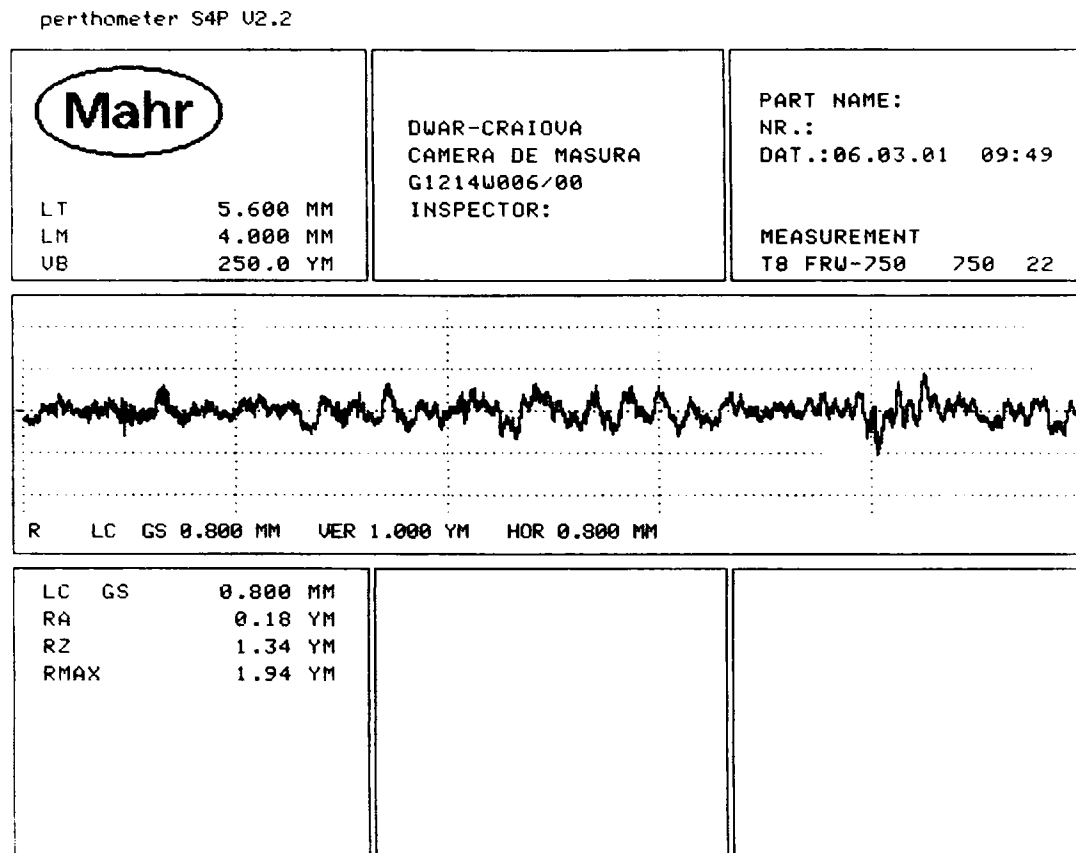


Figura 4.151. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBN45 cu regimul de așchiere

R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

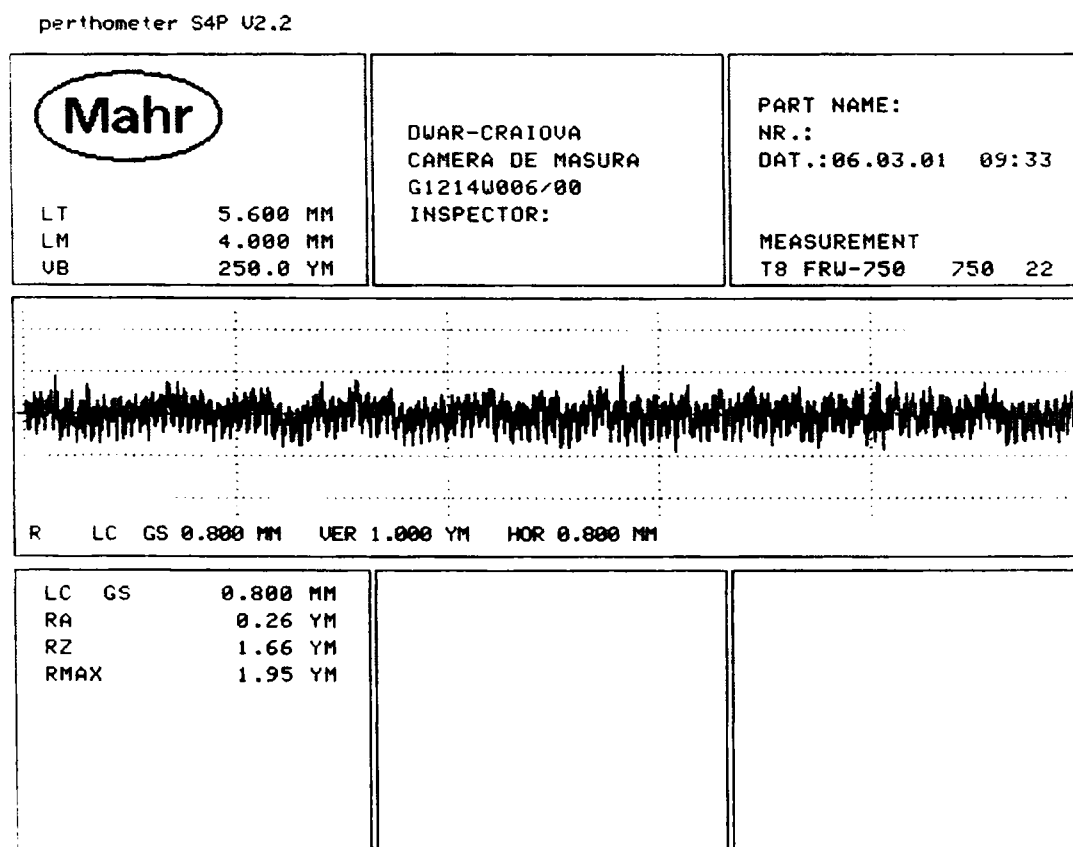


Figura 4.152. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBC50 cu regimul de așchiere

R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

Analizând figurile de mai sus se poate aprecia că față de cazul utilizării regimului de așchiere R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm, în cazul regimului de

așchiere R3 când practic a fost modificată viteza la valoarea $V_c=180$ m/min, păstrându-se constant f_n și a_p . nu au apărut modificări semnificative ale rugozității R_a . Rezultatele comparative obținute pentru rugozitatea R_a în cazul utilizării regimurilor de așchiere R1 și R3 sunt prezentate în tabelul 4.36.

Tabel 4.36. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R1 și R3

Regim de așchiere Material sculă	R1 $V_c=100$ m/min. $f_n=0,06$ mm/rot $a_p=0,5$ mm	R3 $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot $a_p=0,5$ mm
CC670	0,17	0,21
CC650	0,37	0,20
CB7020	0,20	0,18
DBN45	0,12	0,18
DBC50	0,26	0,26

Din tabelul 4.36 reiese că influența variației vitezei de așchiere de la 100 la 180m/min pentru $f_n=0.06$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm este aproape nesemnificativă asupra rugozității R_a , a suprafeței așchiate. În ceea ce privește influența materialului de sculă se vede că toate materialele de sculă prezintă aceleași performanțe, semn că acest regim de așchiere poate fi folosit la finisare pentru oricare din materialele de sculă încercate.

În figurile 4.153 – 4.157 se prezintă valoarea rugozității suprafeței așchiate pentru fiecare material de sculă împarte atunci când s-a utilizat regimul de așchiere R4:

$V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm.

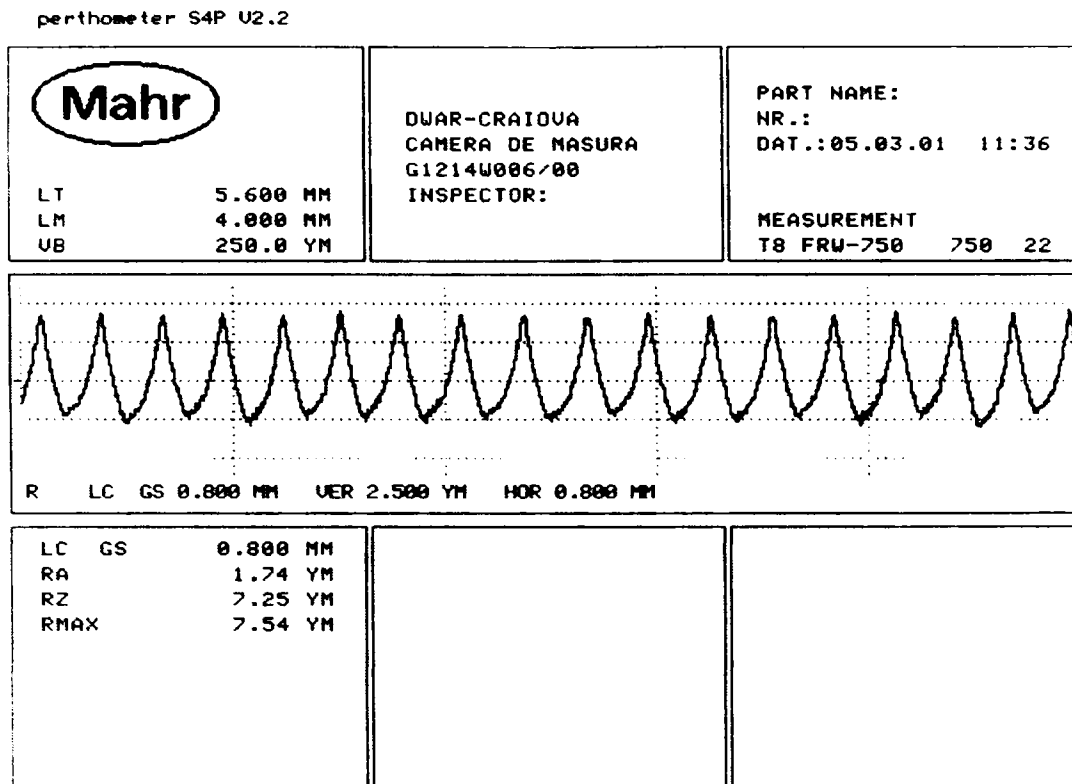


Figura 4.153. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC670 cu regimul de așchiere
R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

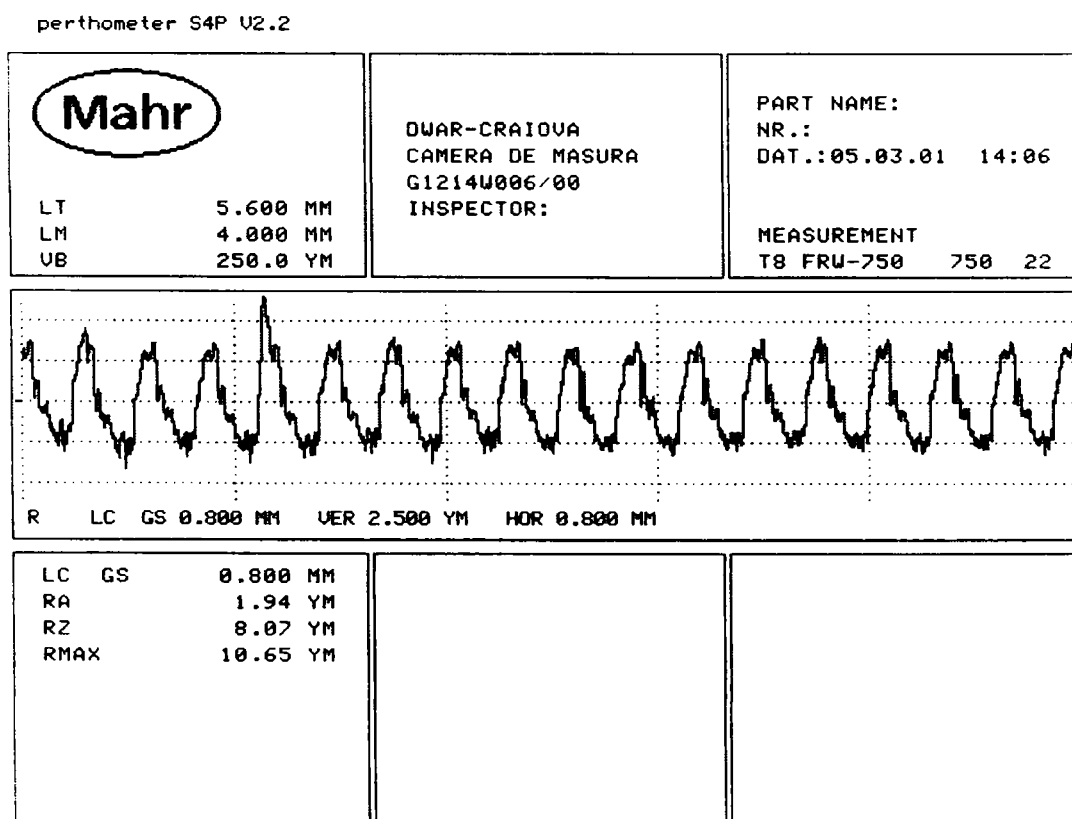


Figura 4.154. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC650 cu regimul de așchiere
R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

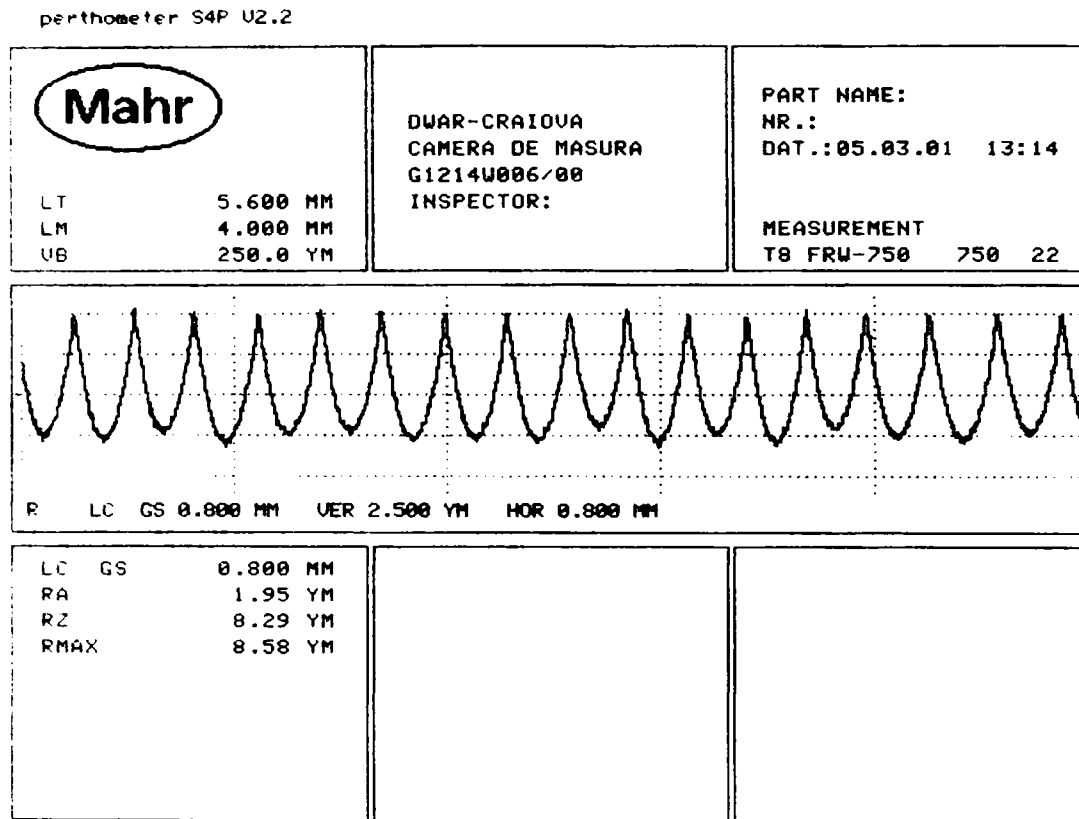


Figura 4.155. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CB7020 cu regimul de așchiere

R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

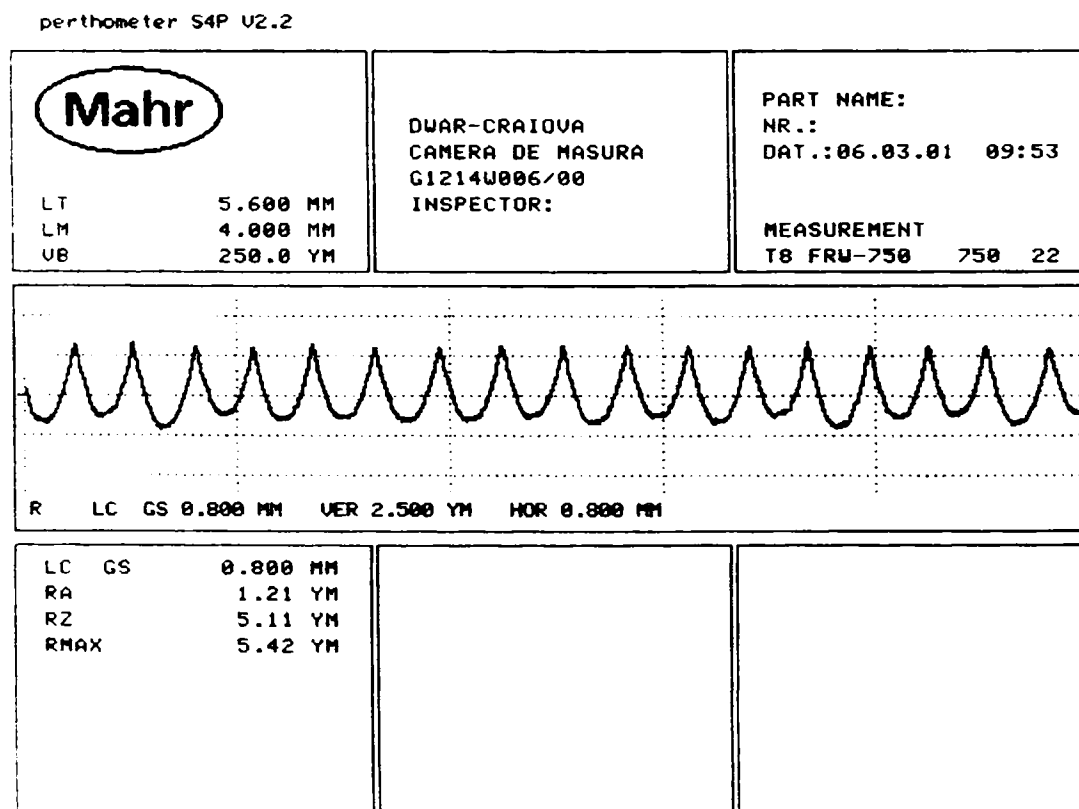


Figura 4.156. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBN45 cu regimul de așchiere

R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

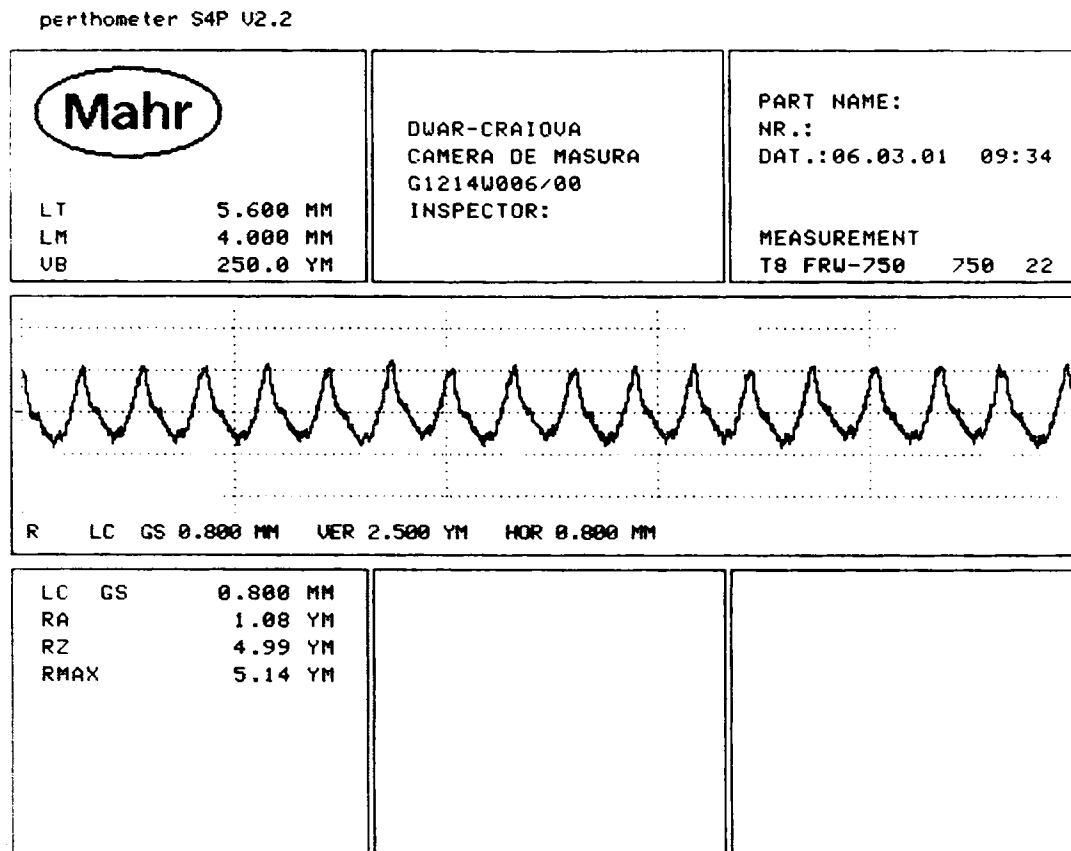


Figura 4.157. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBC50 cu regimul de așchiere

R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

Analizând figurile 4.153 - 4.157 se poate aprecia că față de precedentele figuri 4.148 – 4.152 când s-a utilizat același regim de așchiere doar cu avansul modificat 0,06mm/rot în loc de 0,22 mm/rot, s-a produs o creștere importantă a rugozității suprafeței atunci când a fost crescut avansul. Acest lucru a fost pus în evidență atunci când s-au comparat valorile rugozității obținute cu primul respectiv al doilea regim de așchiere. Și atunci s-a modificat avansul de la 0,06 la 0,22 mm/rot dar la o viteză de 100 m/min. În cazul regimului R4 față de R3, s-a modificat avansul de așchiere de la valoarea 0,06 la 0,22mm/rot dar la o viteză de 180 m/min. În tabelul 4.37 sunt prezentate rugozitățile obținute la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu cele cinci materiale de sculă utilizate cu regimurile de așchiere R4 și R3. Ținând cont de aceste aspecte se poate aprecia că pentru $V_c=180$ m/min, creșterea avansului de la 0,06 mm/rot la 0,22 mm/rot duce la o creștere importantă a rugozității Ra (tabel 4.37)

Tabel 4.37. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R3 și R4

Regim de așchiere Material sculă	R3 $V_c=180\text{m/min}$, $f_n=0,06\text{mm/rot}$ $a_p=0,5\text{ mm}$	R4 $V_c=180\text{m/min}$, $f_n=0,22\text{mm/rot}$ $a_p=0,5\text{ mm}$
	CC670	0,21
CC650	0,20	1,94
CB7020	0,18	1,95
DBN45	0,18	1,21
DBC50	0,26	1,08

Dacă comparăm valorile pentru Ra obținute cu fiecare material de sculă împarte, se poate observa că sculele ceramice și scula CB7020 prezintă performanțe apropiate. Sculele din nitrură cubică de bor policristalină produse de firma De Beers, DBN45 și DBC50 au performanțe mai bune.

Dacă se compară valorile Ra obținute cu cele cinci materiale de sculă cu regimul de așchiere R4 cu cele obținute cu regimul de așchiere R2, se poate aprecia influența variației vitezei de la 100 m/min la 180 m/min pentru $f_n=0,22\text{ mm/rot}$ și $a_p=0,5\text{ mm}$ asupra rugozității suprafeței așchiate.

Tabel 4.38. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R2 și R4

Regim de așchiere Material sculă	R2 $V_c=100\text{m/min}$, $f_n=0,22\text{mm/rot}$ $a_p=0,5\text{ mm}$	R4 $V_c=180\text{m/min}$, $f_n=0,22\text{mm/rot}$ $a_p=0,5\text{ mm}$
	CC670	1,66
CC650	2,04	1,94
CB7020	2,00	1,95
DBN45	1,21	1,21
DBC50	1,07	1,08

Din tabelul 4.38 se poate vedea că variația vitezei de așchiere de la 100 la 180 m/min pentru $f_n=0,22\text{ mm/rot}$ și $a_p=0,25\text{ mm}$ nu influențează în mare măsură valoarea rugozității suprafeței așchiate pentru oricare din materialele de sculă utilizate.

Regimul de așchiere R5 a utilizat aceeași viteză și avans de așchiere ca și regimul R1 modificându-se doar adâncimea de așchiere de la 0,5 mm pentru R1 la 0,25 mm pentru R5. În figurile 4.158 - 4.162 sunt prezentate valorile rugozității pentru cele cinci materiale de sculă utilizate la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu regimul de așchiere R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm.

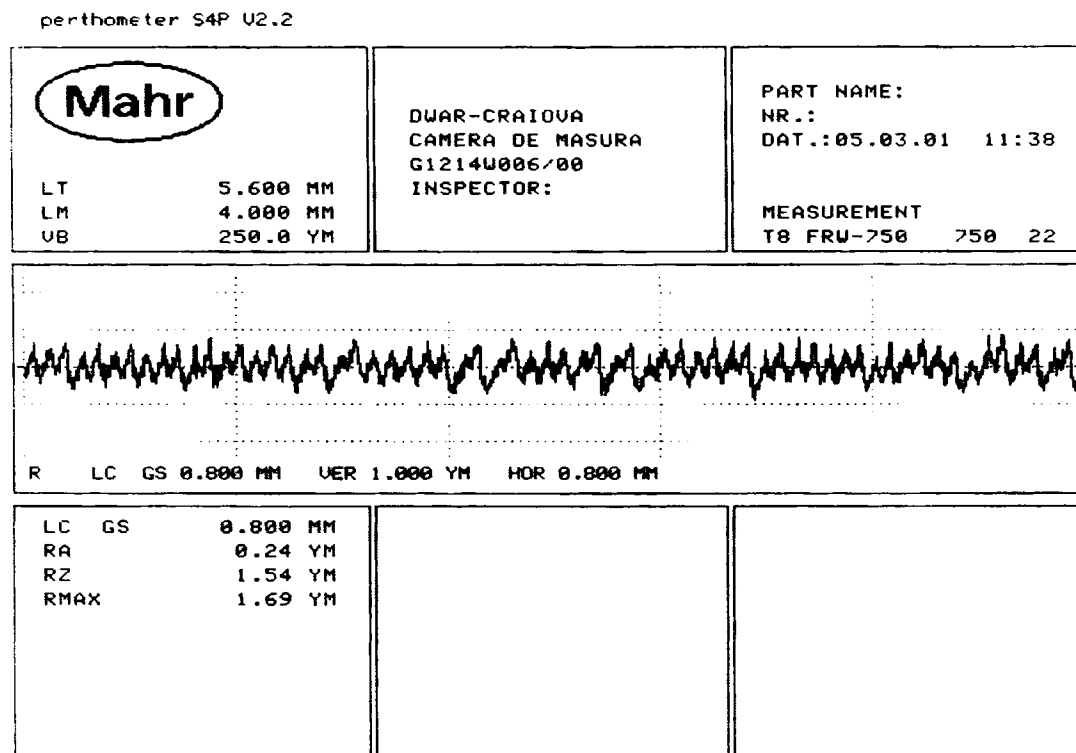


Figura 4.158. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC670 cu regimul de așchiere

R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

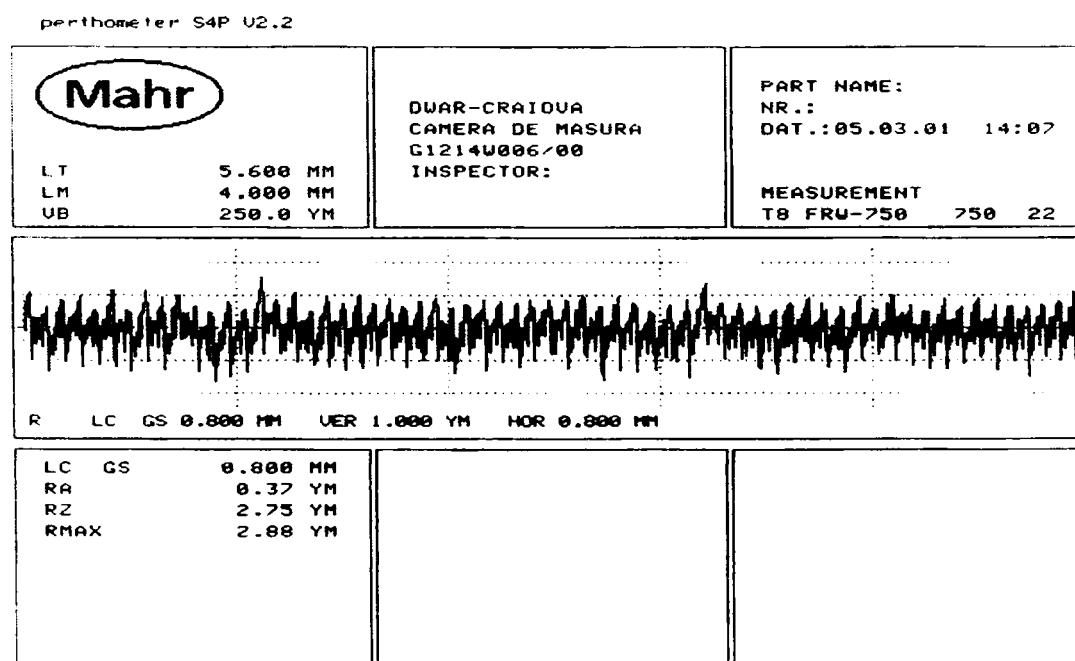


Figura 4.159. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC650 cu regimul de așchiere

R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

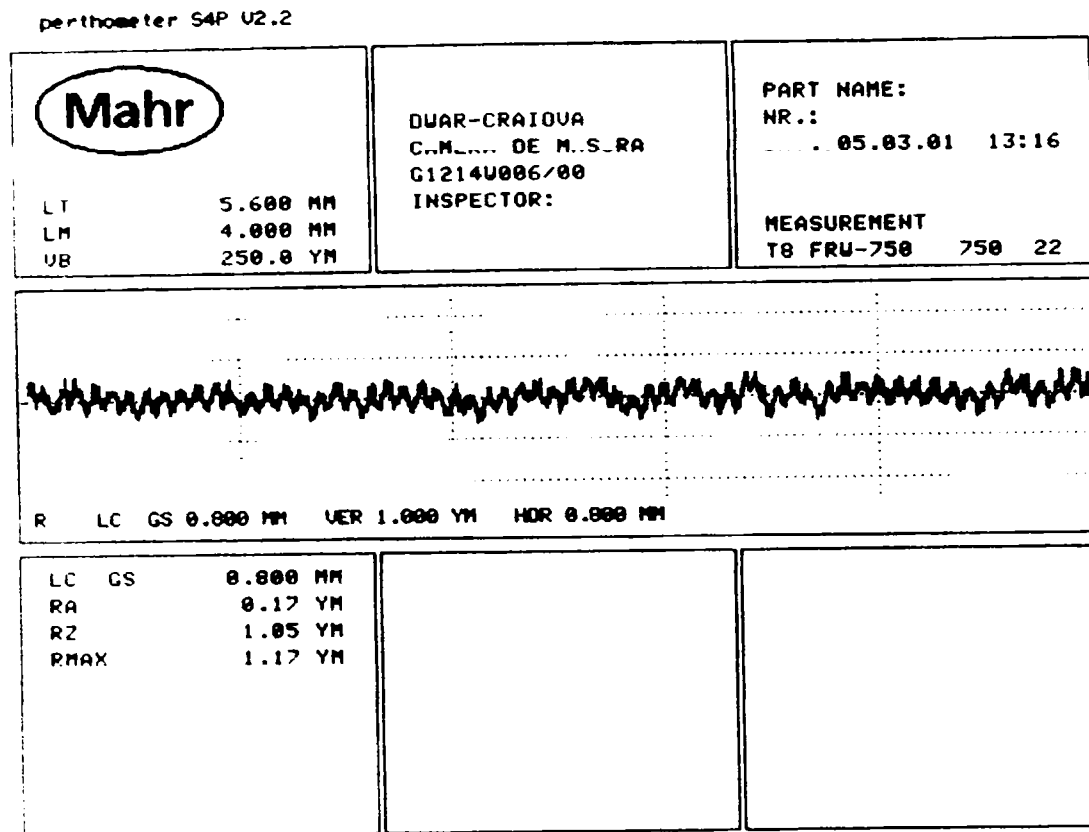


Figura 4.160. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CB7020 cu regimul de așchiere

R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

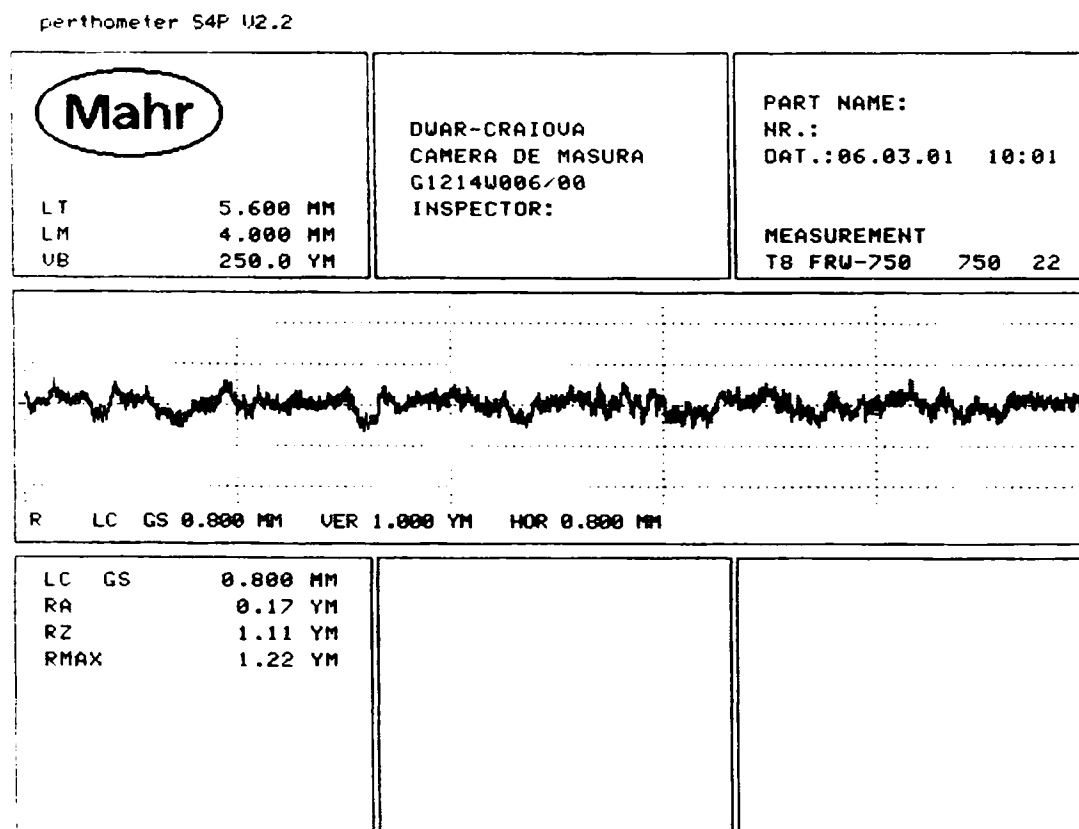


Figura 4.161. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBN45 cu regimul de așchiere

R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

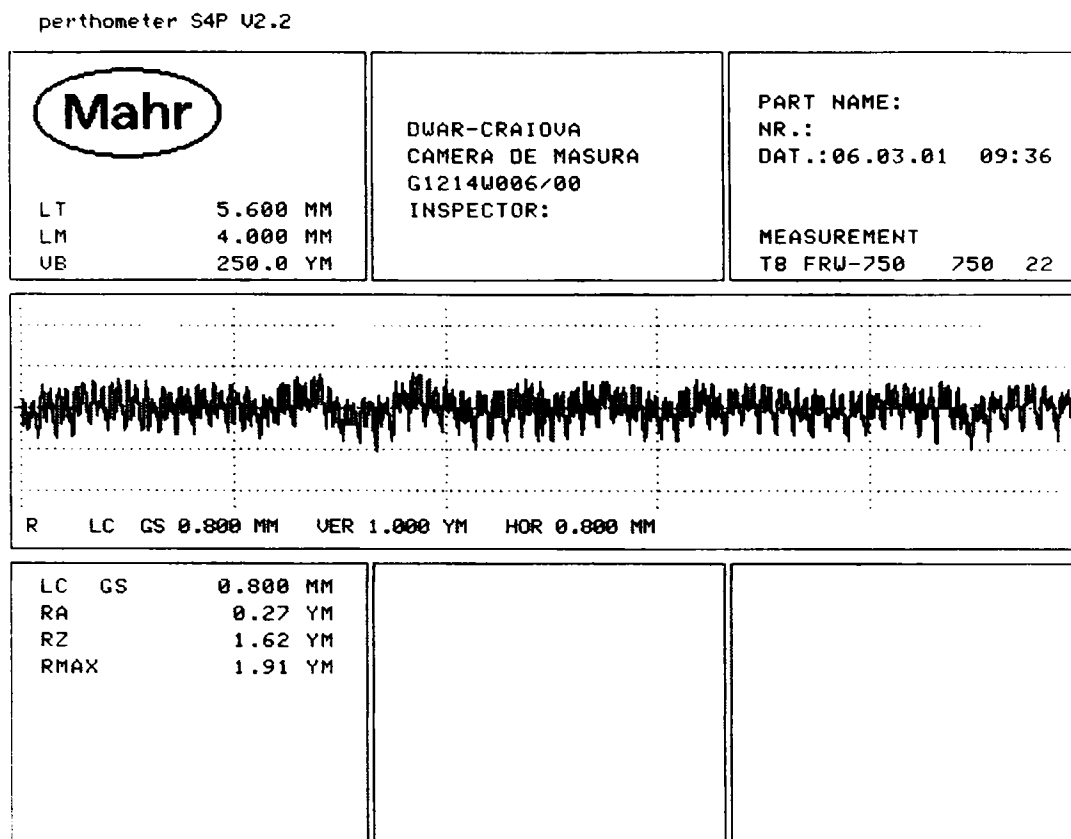


Figura 4.162. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBC50 cu regimul de așchiere R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Dacă se analizează figurile 4.158- 4.162 comparativ cu figurile 4.138 – 4.142 se poate face o apreciere a influenței adâncimii de așchiere asupra rugozității suprafeței așchiate. Rezultatele privind rugozitatea Ra în cazul utilizării regimului de așchiere R5 și R1 sunt prezentate în tabelul 4.39.

Tabel 4.39. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R1 și R5

Regim de așchiere Material sculă	R1 $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot $a_p=0,5$ mm	R5 $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot $a_p=0,25$ mm
	CC670	0,17
CC650	0,37	0,37
CB7020	0,20	0,17
DBN45	0,12	0,17
DBC50	0,26	0,27

După cum se poate observa modificările rugozității datorate variației adâncimii de așchiere la o viteză de așchiere $V_c=100$ m/min și un avans $f_n=0,06$ mm/rot sunt

ne semnificative. Acest lucru pune în evidență faptul că adâncimea de așchiere pentru regimul de așchiere utilizat nu influențează rugozitatea suprafeței așchiate. Referitor la influența materialului de sculă asupra rugozității R_a pentru acest regim de așchiere se poate observa că cele mai bune rezultate pentru R_a s-au obținut cu sculele CB7020 și DBN45 ($R_a=0.17\mu\text{m}$), această valoare reprezentând jumătate din valoarea rugozității obținute cu scula CC650, în aceleași condiții de așchiere. În acest fel este pusă în evidență încă odată superioritatea sculelor din nitrură cubică de bor față de ceramice.

În figurile 4.163 – 4.167 este prezentată rugozitatea suprafeței obținute la așchiera cu cele cinci materiale de sculă utilizând regimul de așchiere R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm.

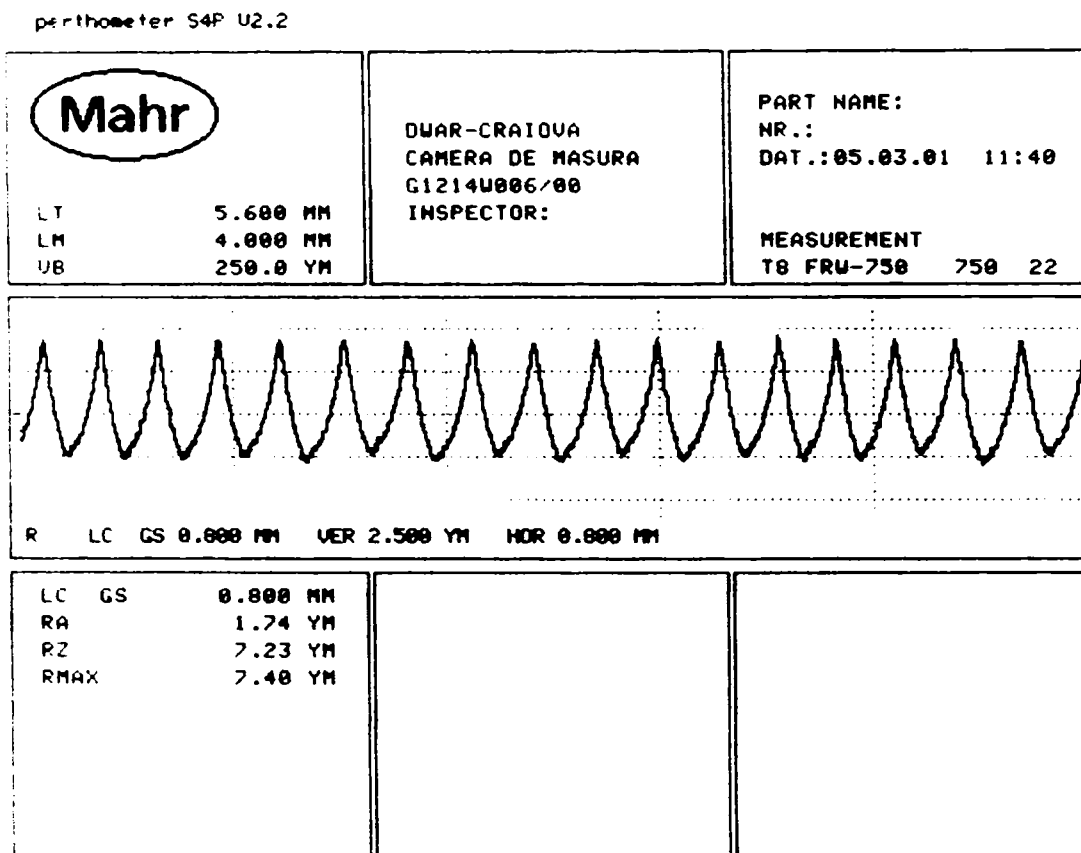


Figura 4.163. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC670 cu regimul de așchiere R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

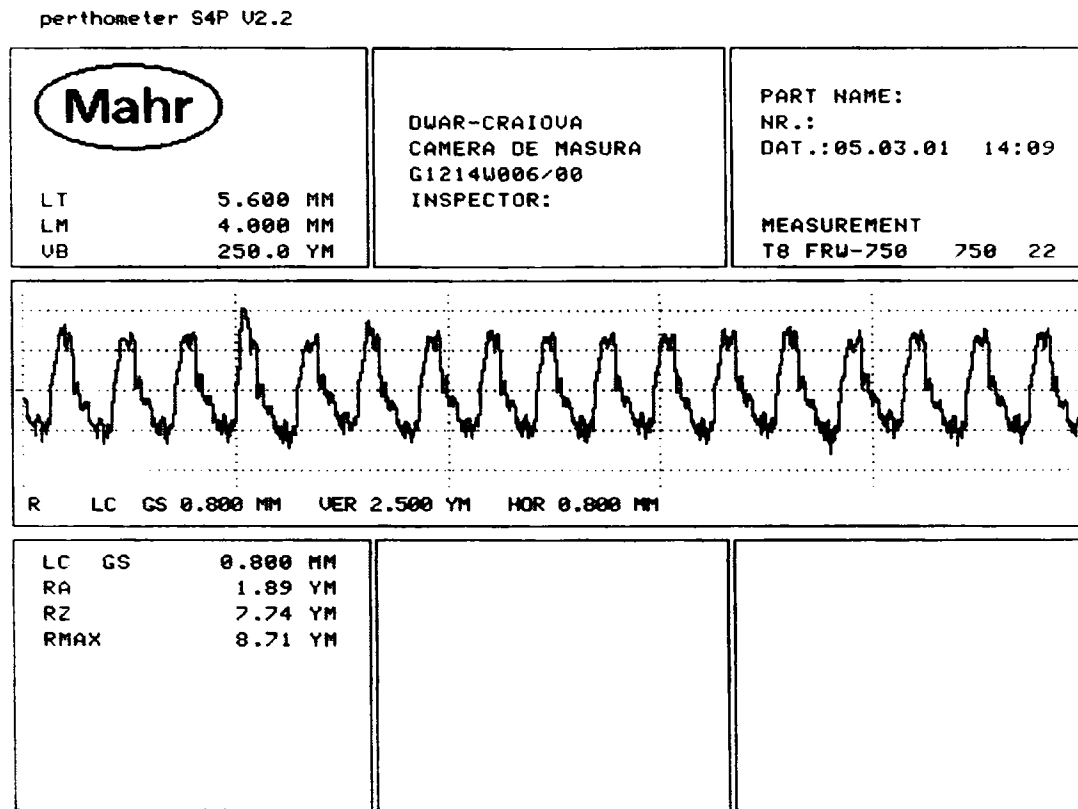


Figura 4.164. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC650 cu regimul de așchiere
 $R_6: V_c=100 \text{ m/min}, f_n=0,22 \text{ mm/rot}, a_p=0,25 \text{ mm}$

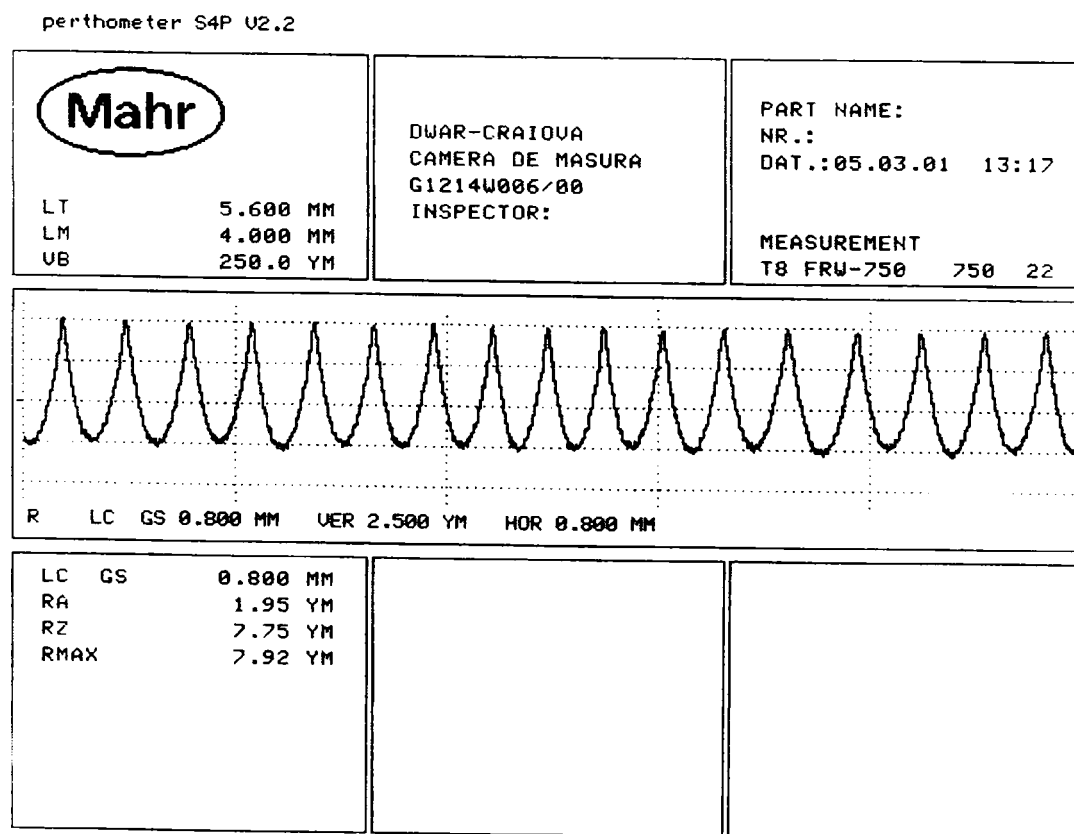


Figura 4.165. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CB7020 cu regimul de așchiere
 $R_6: V_c=100 \text{ m/min}, f_n=0,22 \text{ mm/rot}, a_p=0,25 \text{ mm}$

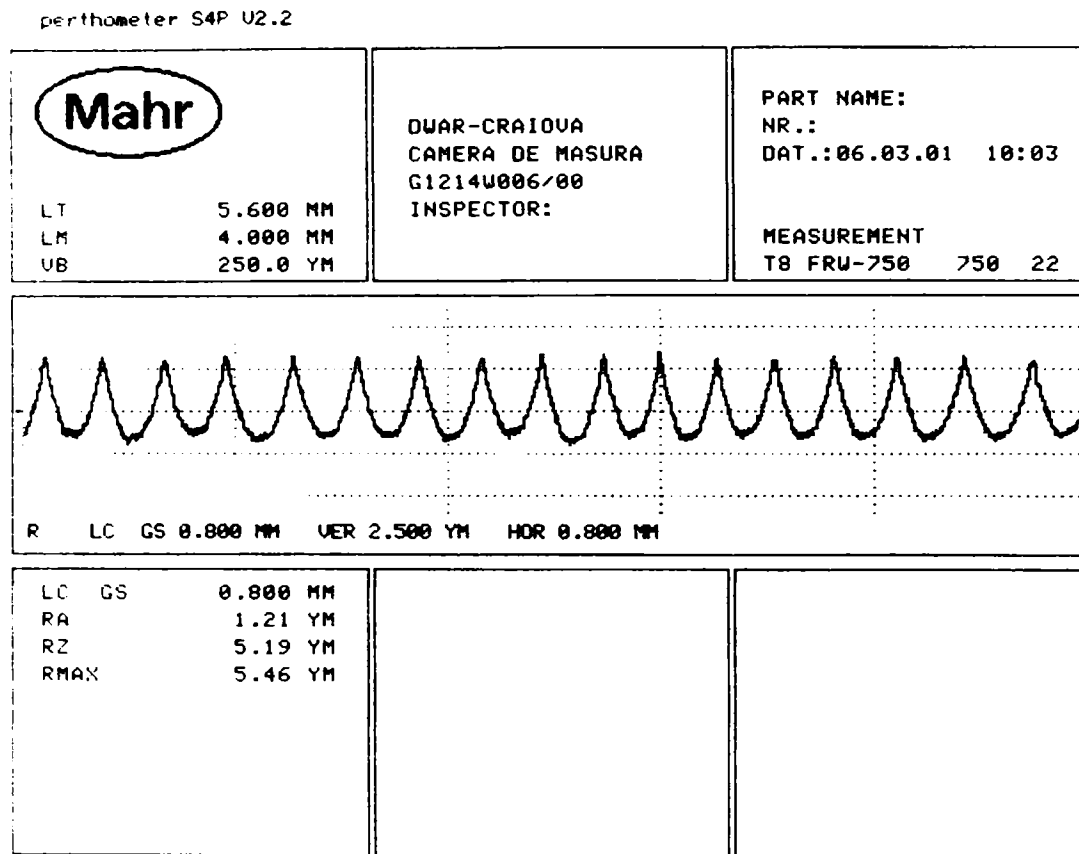


Figura 4.166. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBN45 cu regimul de așchiere

R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

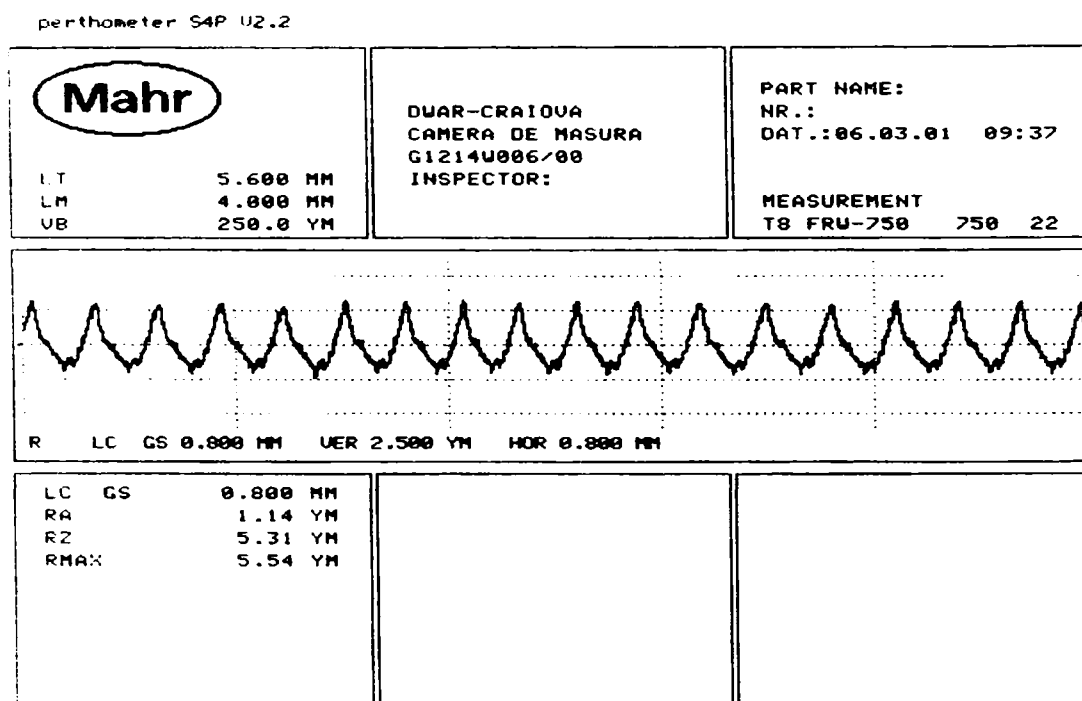


Figura 4.167. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBC50 cu regimul de așchiere

R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Se poate face o analiză a figurilor 4.163 - 4.167 în raport cu figurile 4.158 - 4.162 pentru a vedea influența variației avansului de la $f_n=0,06$ m/rot la $f_n=0,22$ m/rot pentru $V_c=100$ m/min și $a_p=0,25$ mm și o analiză figurilor 4.163 - 4.167 în raport cu figurile 4.143 - 4.147 pentru a vedea influența adâncimii de așchiere de la 0,5 mm la 0,25 mm pentru

$V_c=100$ m/min și $f_n=0,22$ mm/rot. În primul caz analizând figurile 4.163 – 4.167 în raport cu figurile 4.158 – 4.162 se poate vedea că odată cu creșterea avansului are loc creșterea semnificativă a R_a după cum se vede în tabelul 4.4.6.

Tabel 4.40. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R5 și R6

Regim de așchiere Material sculă	R5 $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot $a_p=0,25$ mm	R6 $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot $a_p=0,25$ mm
CC670	0,24	1,74
CC650	0,37	1,89
CB7020	0,17	1,95
DBN45	0,17	1,21
DBC50	0,27	1,14

Se poate aprecia că și în acest caz influența avansului de așchiere asupra rugozității suprafeței este decisivă. În tabelul 4.41 sunt prezentate valorile obținute pentru rugozitatea R_a în cazul utilizării regimurilor de așchiere R2 și R6.

Tabel 4.41. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R2 și R6

Regim de așchiere Material sculă	R2 $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot $a_p=0,5$ mm	R6 $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot $a_p=0,25$ mm
CC670	1,66	1,74
CC650	2,04	1,89
CB7020	2,00	1,95
DBN45	1,21	1,21
DBC50	1,07	1,14

Din tabelul de mai sus se poate aprecia că influența variației adâncimii de așchiere de la 0,5 mm la 0,25 mm pentru o viteză de așchiere de 100 m/min și un avans de 0,22 mm/rot nu conduce la modificări substanțiale pentru R_a . Deci adâncimea de așchiere nu influențează în mare măsură rugozitatea R_a . În ce privește materialul de sculă, pentru

regimul de aşchiere R6 se poate vedea că și de această dată sculele DBN45 și DBC50 sunt capabile de a realiza o rugozitate mai bună decât celelalte materiale de sculă.

În figurile 4.168 – 4.172 esate prezentată rugozitatea suprafeței obținută pentru fiecare material de sculă la aşchiera cu regimul R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ m.

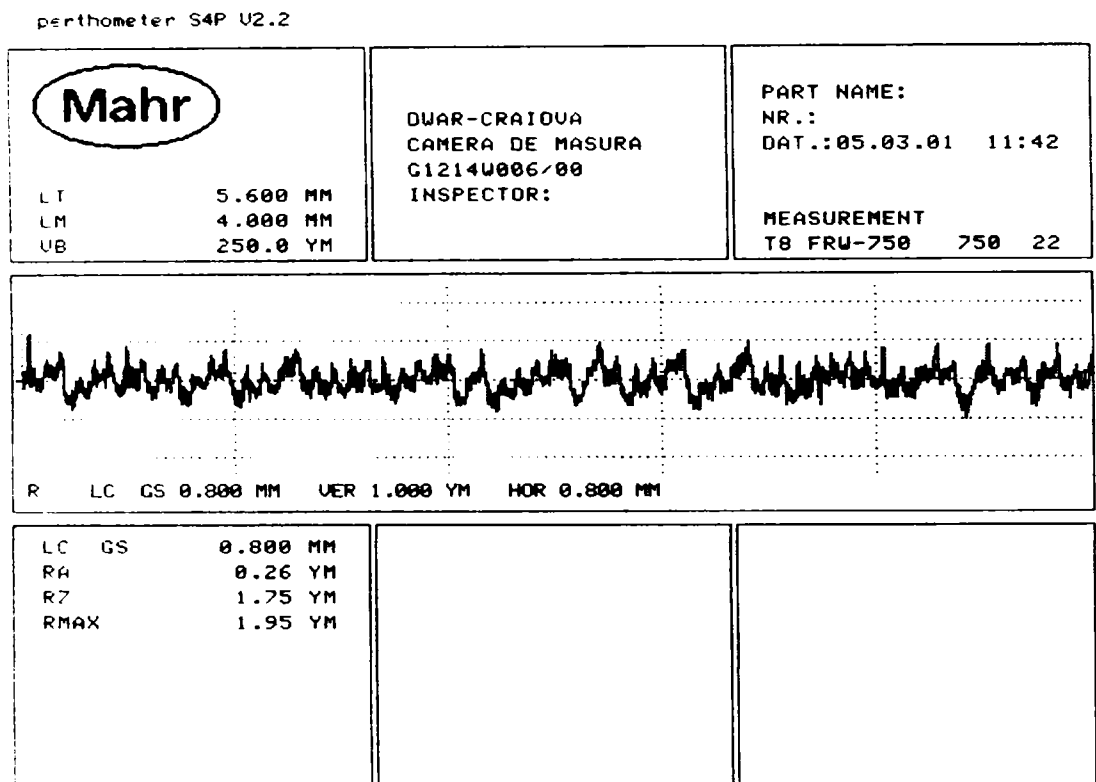


Figura 4.168. Rugozitatea suprafeței aşchiate cu scula CC670 cu regimul de aşchiere R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

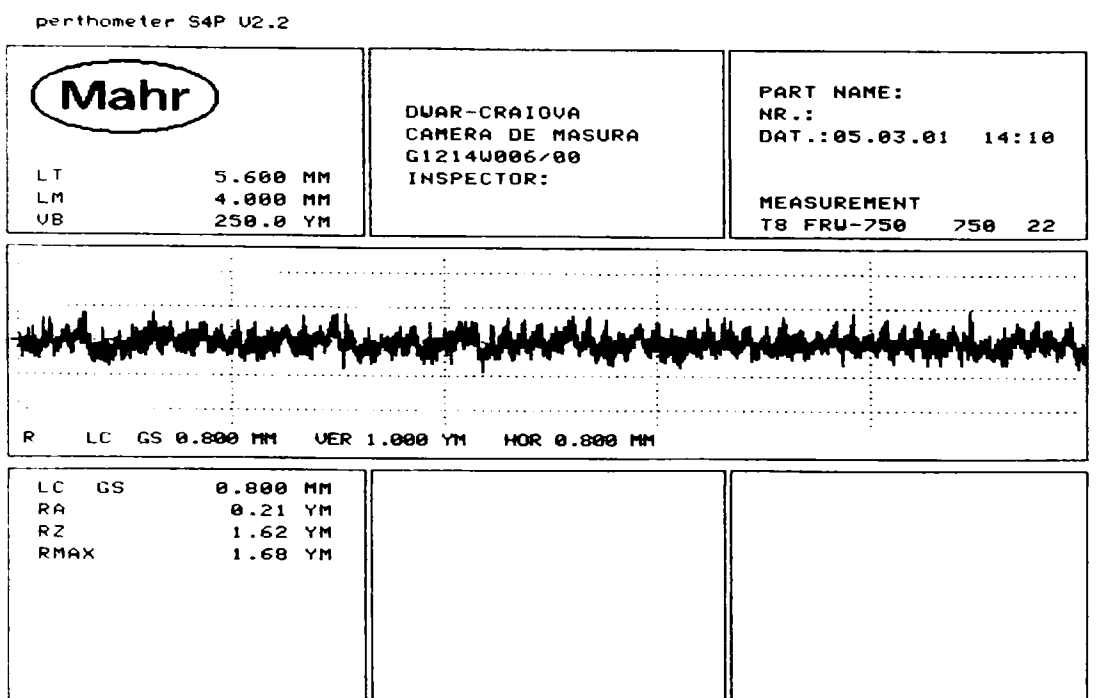


Figura 4.169. Rugozitatea suprafeței aşchiate cu scula CC650 cu regimul de aşchiere R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ m

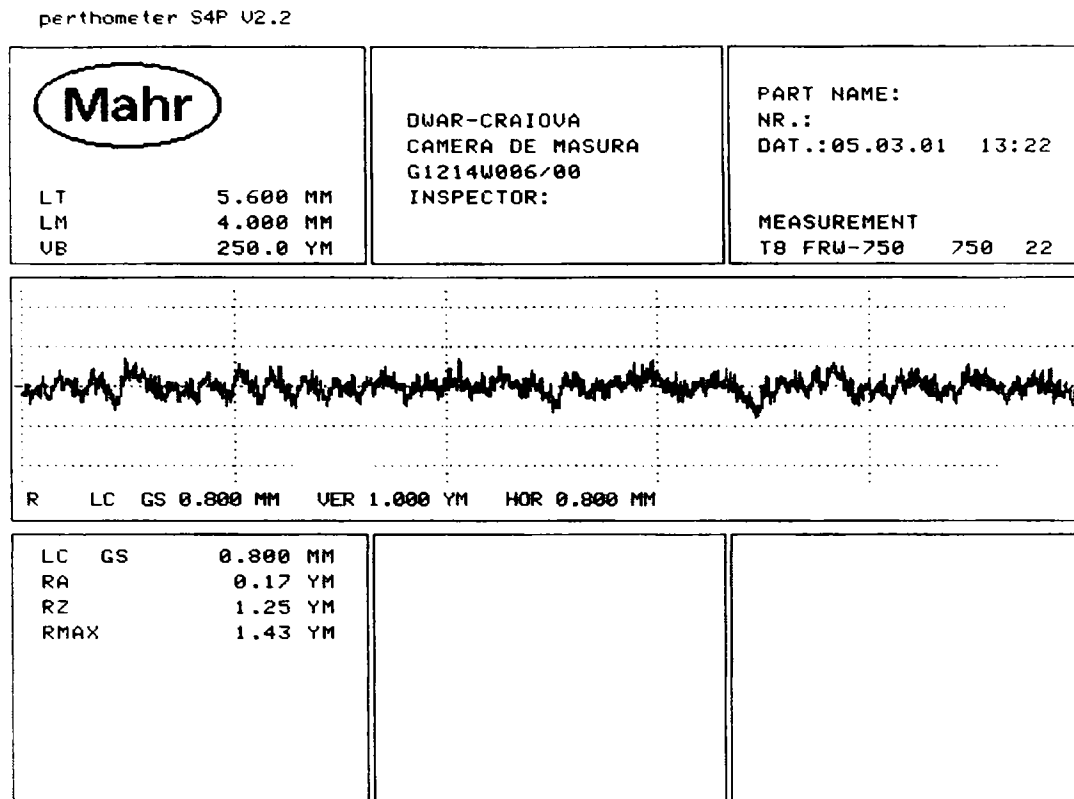


Figura 4.170. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CB7020 cu regimul de așchiere
 R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ m

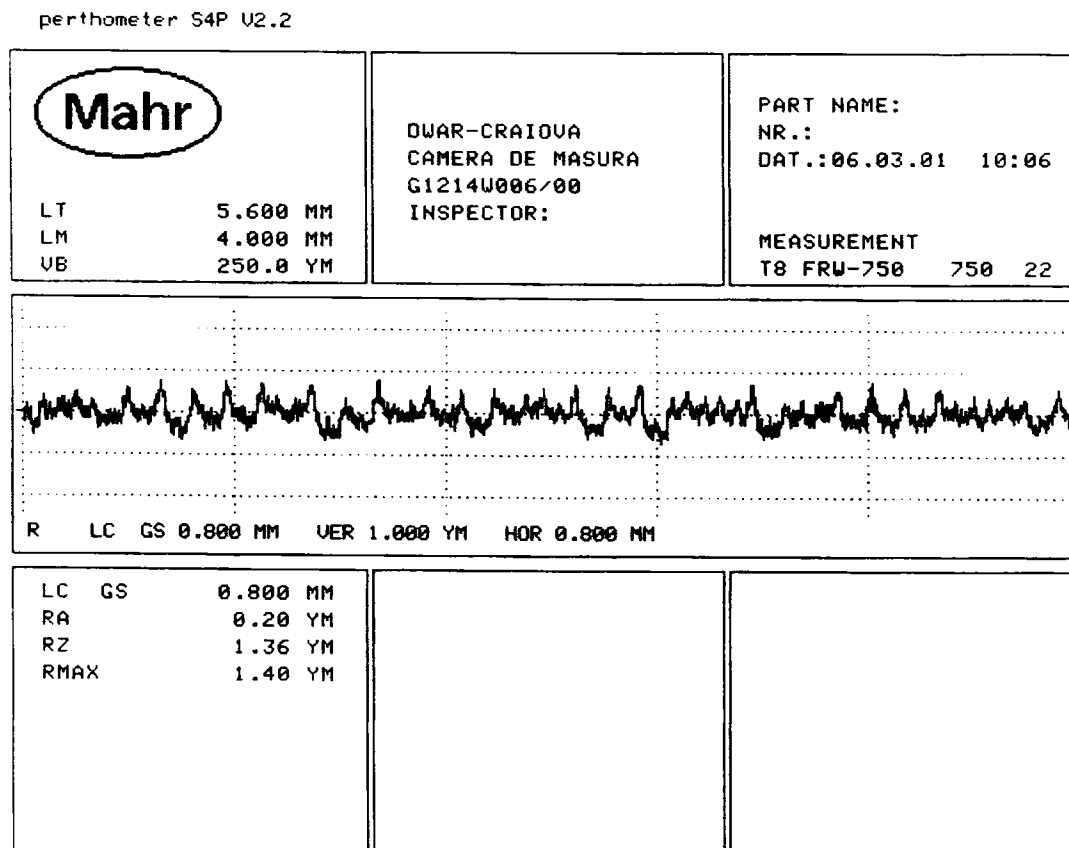


Figura 4.171. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBN45 cu regimul de așchiere
 R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ m

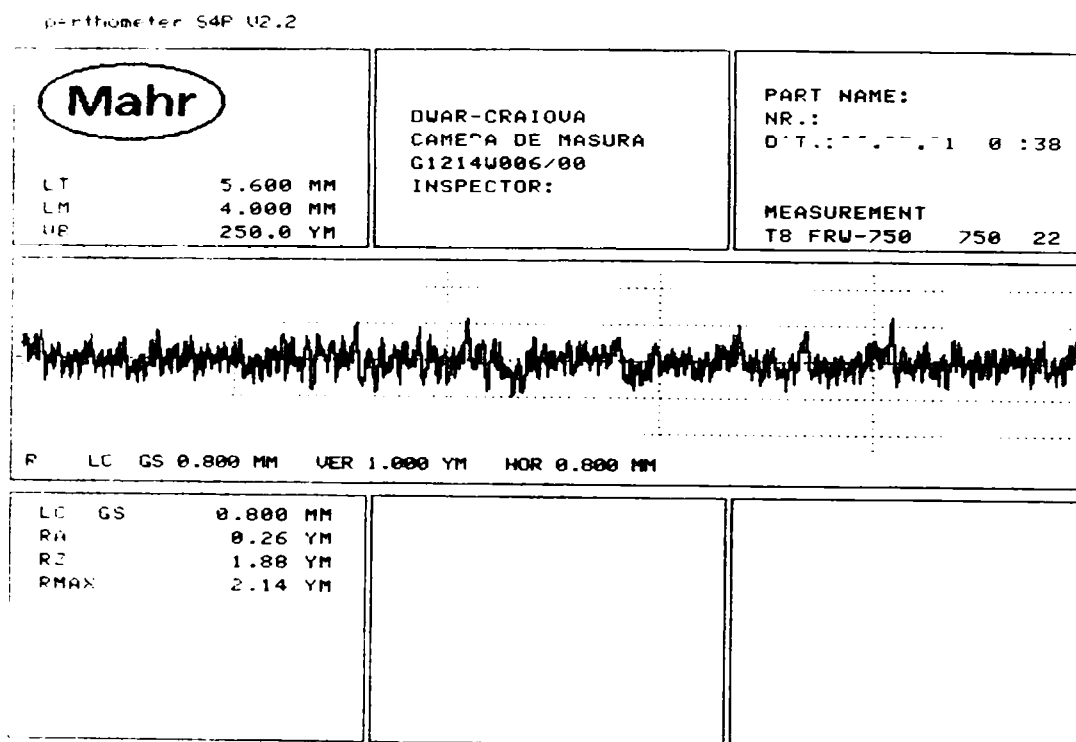


Figura 4.172. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBC50 cu regimul de așchiere R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ m

Cele cinci figuri prezentate mai sus, corespunzătoare regimului de așchiere R7 pot fi analizate prin comparare cu figurile 4.158 – 4.162 corespunzătoare rugozității obținute cu regimul de așchiere R5 pentru a fi studiată influența variației vitezei de așchiere V_c de la $V_c=100$ m/min la $V_c=180$ m/min pentru $f_n=0,06$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm, asupra rugozității Ra. În tabelul 4.42 sunt prezentate sintetizat valorile rugozității Ra comparând regimurile de așchiere R7 și R5 pentru fiecare material de sculă.

Tabel 4.42. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R5 și R7

Regim de așchiere Material sculă	R5 $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot $a_p=0,25$ mm	R7 $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot $a_p=0,25$ m
CC670	0,24	0,26
CC650	0,37	0,21
CB7020	0,17	0,17
DBN45	0,17	0,20
DBC50	0,27	0,26

După cum se poate vedea din tabelul de mai sus la creșterea vitezei de la 100 la 180m/min nu apar modificări sensibile ale rugozității suprafeței așchiate decât în cazul

sculei CC650 când se constată o îmbunătățire a rugozității de la $Ra=0,37 \mu\text{m}$ la $Ra=0,21\mu\text{m}$. Figurile 4.168 – 4.172 corespunzătoare regimului de așchiere R7 mai pot fi comparate cu figurile 4.148 – 4.152, corespunzătoare regimului de așchiere R3 pentru a evidenția influența variației adâncimii de așchiere de la 0,5 la 0,25 mm pentru $V_c=180 \text{ m/min}$ și $f_n=0,06 \text{ mm/rot}$ asupra rugozității suprafeței. Rezultatele ce privesc această comparație sunt prezentate în tabelul 4.43.

Tabel 4.43. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R3 și R7

Regim de așchiere Material sculă	R3 $V_c=180\text{m/min}$, $f_n=0,06\text{mm/rot}$ $a_p=0,5 \text{ mm}$	R7 $V_c=180\text{m/min}$, $f_n=0,06\text{mm/rot}$ $a_p=0,25 \text{ m}$
CC670	0,21	0,26
CC650	0,20	0,21
CB7020	0,18	0,17
DBN45	0,18	0,20
DBC50	0,26	0,26

Din tabelul 4.43 se vede clar că nici de această dată variația adâncimii de așchiere de la 0,5 la 0,25 mm pentru $V_c=180 \text{ m/min}$ și $f_n=0,06 \text{ mm/rot}$ nu influențează aproape deloc rugozitatea suprafeței așchiate, indiferent de materialul de sculă utilizat. Valorile Ra obținute cu toate cele cinci materiale de sculă pentru regimul de așchiere R7 sunt foarte apropiate.

În figurile 4.173 – 4.177 sunt prezentate valorile rugozității pentru fiecare material de sculă folosit corespunzător regimului de așchiere R8: $V_c=180 \text{ m/min}$, $f_n=0,22 \text{ mm/rot}$, $a_p=0,25 \text{ mm}$.

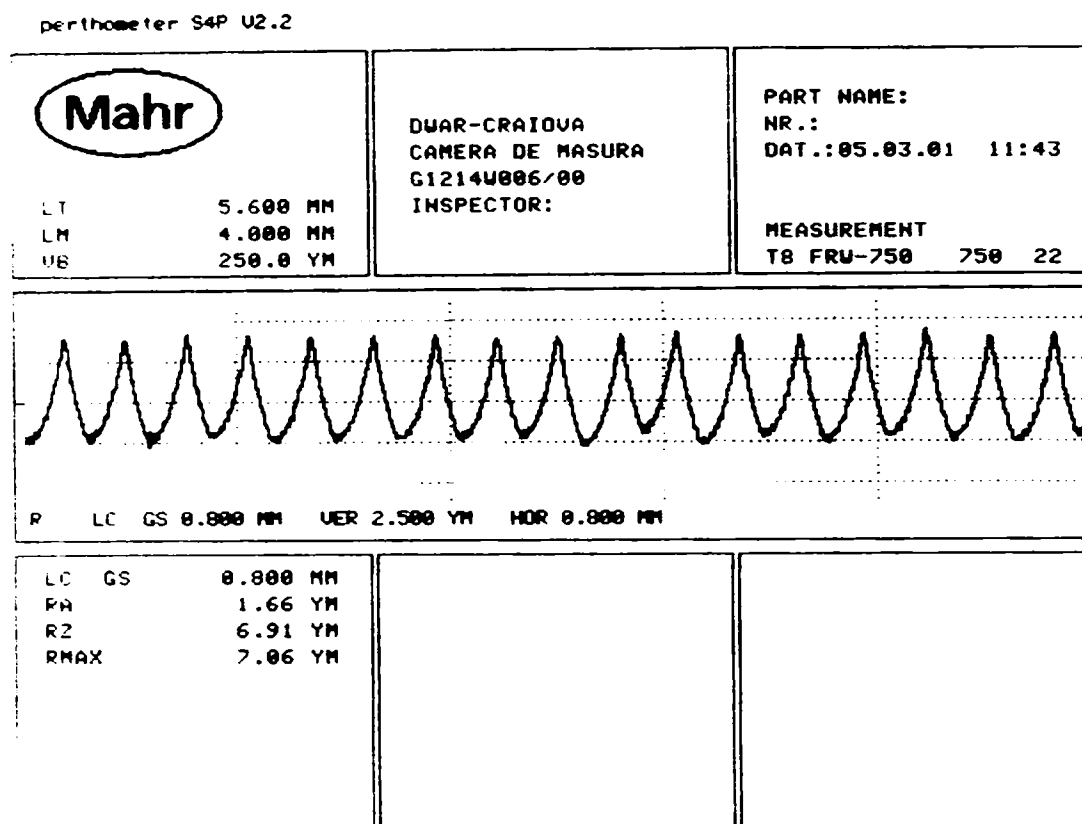


Figura 4.173. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC670 cu regimul de așchiere

R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

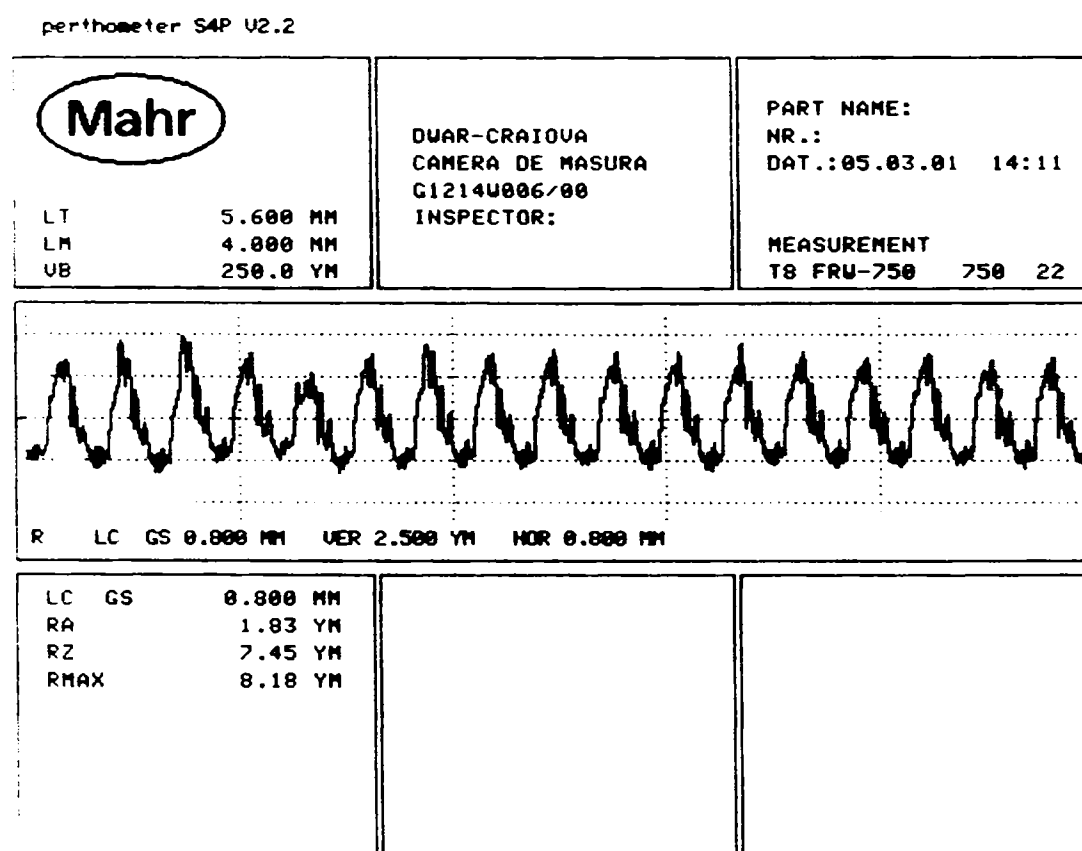


Figura 4.174. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CC650 cu regimul de așchiere

R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

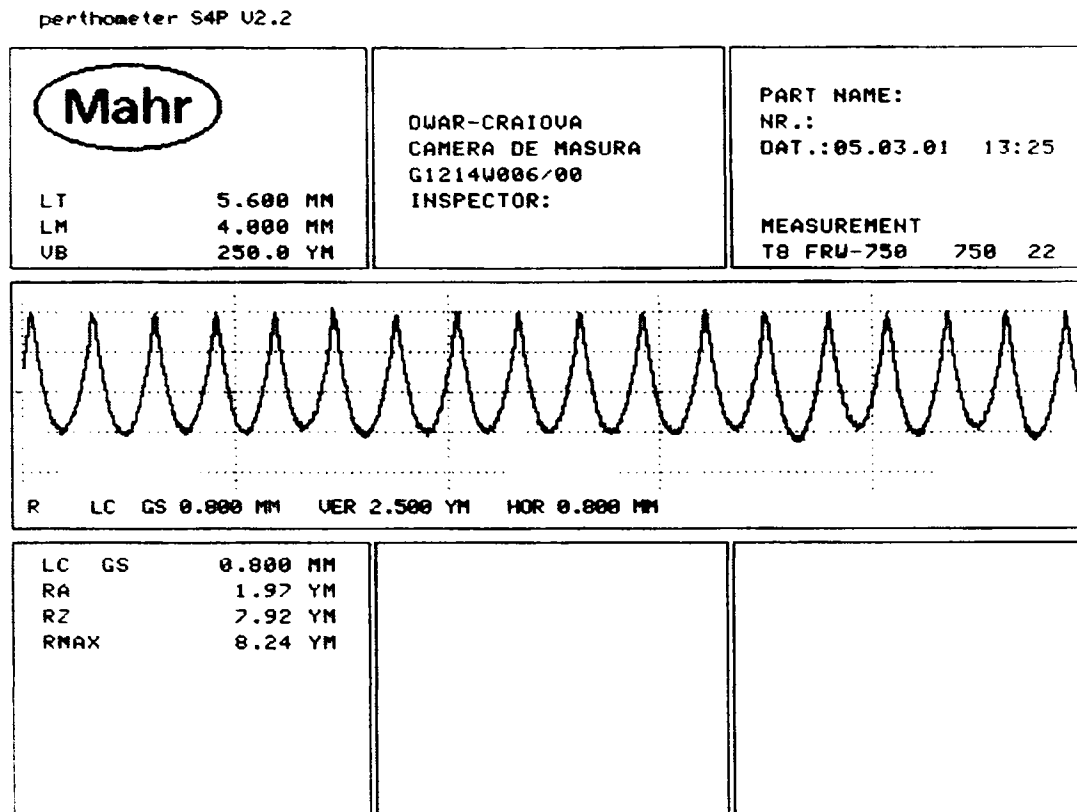


Figura 4.175. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula CB7020 cu regimul de așchiere
R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

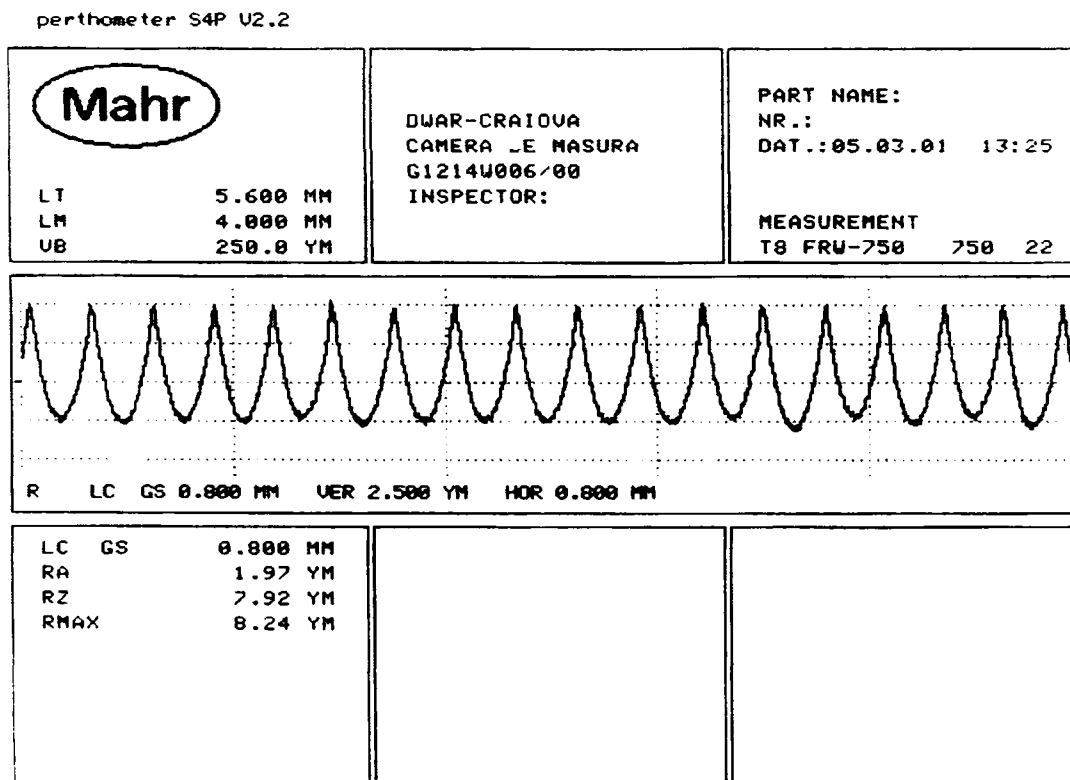


Figura 4.176. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBN45 cu regimul de așchiere
R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

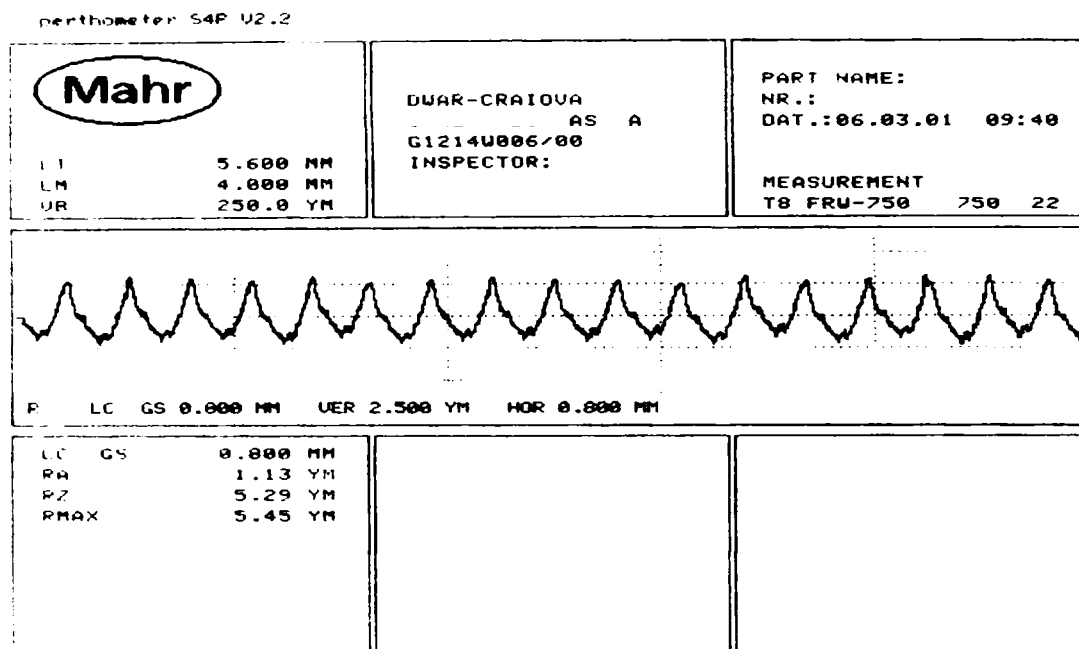


Figura 4.177. Rugozitatea suprafeței așchiate cu scula DBC50 cu regimul de așchiere

R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Figurile 4.173 – 4.177 corespunzătoare regimului de așchiere R8 pot fi comparate cu figurile 4.168 – 4.172 corespunzătoare regimului de așchiere R7 pentru a vedea influența variației avansului de așchiere de la 0,06 mm/rot de la 0,22 mm/rot pentru $V_c=180$ m/min și $a_p=0,25$ mm. Rezultatele cu privire la rugozitatea obținută când s-au utilizat regimurile de așchiere R7 și R8 sunt prezentate în tabelul 4.44.

Tabel 4.44. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R7 și R8

Regim de așchiere Material sculă	R7 $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot $a_p=0,25$ m	R8 $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot $a_p=0,25$ mm
CC670	0,26	1,66
CC650	0,21	1,83
CB7020	0,17	1,97
DBN45	0,20	1,19
DBC50	0,26	1,13

Din tabelul de mai sus se observă că și în acest caz influența avansului de așchiere asupra rugozității este foarte mare influențând în mod evident rugozitatea Ra. Dacă se compară figurile 4.173 – 4.177 corespunzătoare regimului de așchiere R8 cu figurile 4.153 – 4.157 corespunzătoare regimului R4 se poate aprecia încă odată influența variației adâncimii de așchiere asupra rugozității Ra, dar pentru $V_c=180$ m/min și $f_n=0,22$ mm/rot de această

dată. Valorile comparative ale rugozității Ra obținute pentru cele două regimuri de așchiere menționate mai sus sunt prezentate în tabelul 4.45.

Tabel 4.45. Rugozitatea obținută la așchiera cu cele cinci materiale de sculă în raport cu regimurile de așchiere R4 și R8

Regim de așchiere Material sculă	R4 $V_c=180\text{m/min}$, $f_n=0,22\text{mm/rot}$ $a_p=0,5\text{ mm}$	R8 $V_c=180\text{m/min}$, $f_n=0,22\text{mm/rot}$ $a_p=0,25\text{ mm}$
CC670	1,74	1,66
CC650	1,94	1,83
CB7020	1,95	1,97
DBN45	1,21	1,19
DBC50	1,08	1,13

Din tabelul 4.45 se poate observa că variația adâncimii de așchiere de la 0,5 la 0,25mm nu influențează mult rugozitatea Ra pentru $V_c=180\text{ m/min}$ și $f_n=0,22\text{ mm/rot}$. Referitor la influența materialului de sculă asupra rugozității Ra, pentru regimul de așchiere R8 se observă un ușor avantaj în favoarea sculelor DBN45 și DBC50 cu ajutorul cărora s-au obținut totuși rugozități Ra mai mici decât în cazul celorlalte materiale de sculă.

În urma celor prezentate se poate concluziona că numai variația avansului de așchiere influențează semnificativ rugozitatea Ra, în timp ce variația vitezei de așchiere sau a adâncimii de așchiere nu prezintă o influență notabilă asupra rugozității Ra.

Din cele cinci materiale de sculă, în majoritatea cazurilor se distinge un ușor avantaj în ceea ce privește rugozitatea suprafețelor așchiate cu sculele DBN45 și DBC50 lucru ce vine să confirme faptul că aceste două materiale de sculă sunt destinate în principal prelucrărilor de finisare. În urma rezultatelor prezentate reiese suficient de clar că sculele din nitrură cubică de bor policristalină sunt capabile de performanțe mai bune în ceea ce privește rugozitatea suprafețelor așchiate decât materialele ceramice. În figurile următoare este analizată abaterea de la circularitate obținută cu cele cinci materiale de sculă prezentate anterior utilizând aceleași opt regimuri de așchiere folosite pentru analiza rugozității suprafeței așchiate.

În figura 4.178 sunt prezentate abaterile de la circularitate în cazul așchierii cu scula CC670 utilizând cele opt regimuri de așchiere, măsurate cu sistemul de măsurare Talyrond-Hobson Pneumo.

RTH TR4 V05.45 SO/L 02.06 PR 12-MULTILOT
 Daewoo Automobile Romania G1214W012/00 05/03/2001 11:08:26
 Directia Calitate / Serviciul Calitate Proces
 Sala De Masuratori
 Programare si operare:

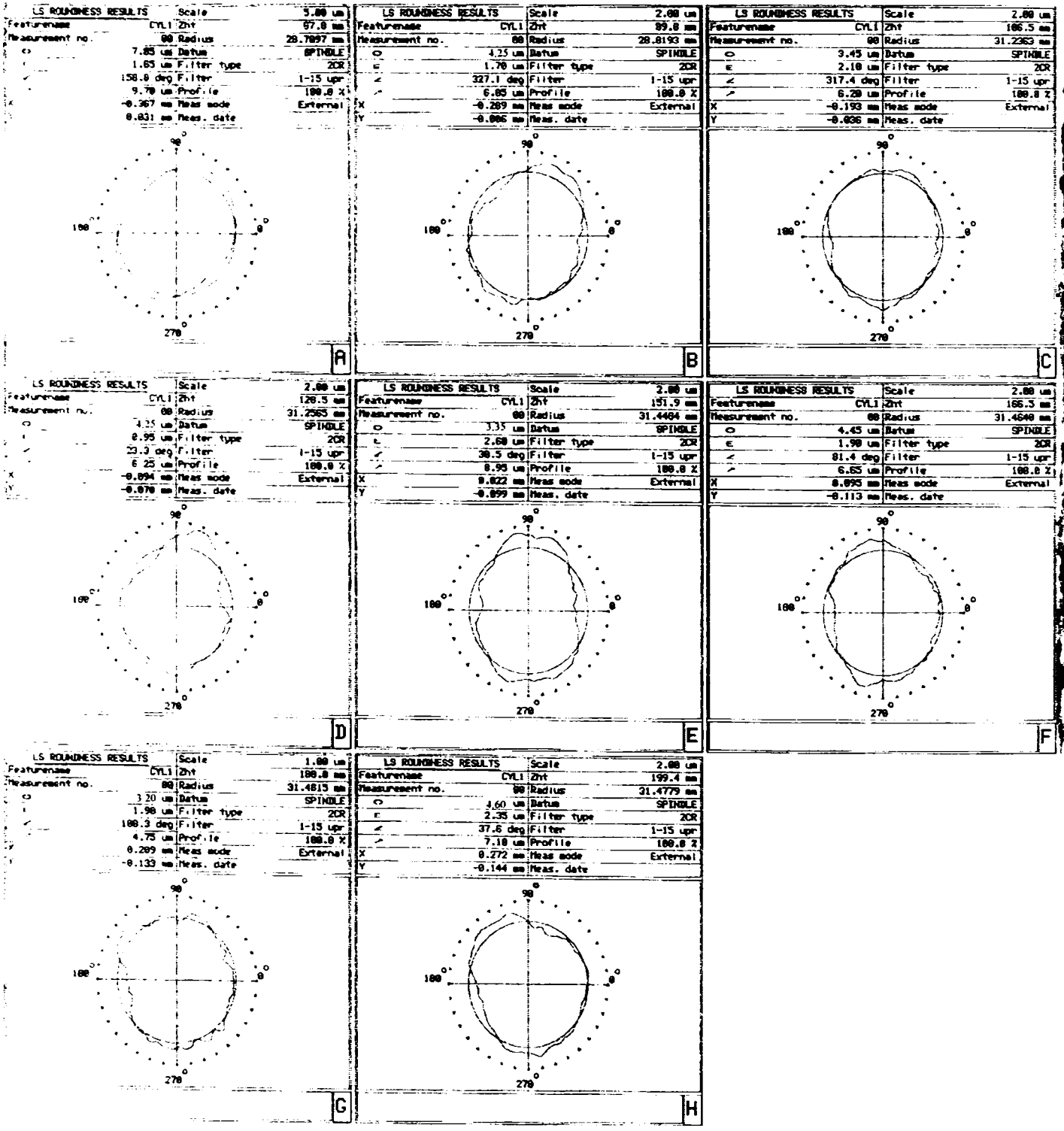


Figura 4.178. Abaterile de la circularitate în cazul aşchierii oțelului 100 Cr6 cu sula CC670 utilizând opt regimuri de aşchiere diferite

Se va analiza în continuare pe rând, influența fiecărui parametru al regimului de așchiere asupra abaterii de la circularitate a piesei.

În tabelul 4.46 sunt prezentate valorile abaterii de la circularitate în micrometri pentru fiecare regim de așchiere, pentru scula CC670, conform figurii 4.178.

Tabel 4.46. Abaterea de la circularitate în funcție de materialul de sculă și regimul de așchiere folosit

Material de sculă Regim de așchiere	CC670
R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	7,85 μ m
R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	4,25 μ m
R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	3,45 μ m
R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	4,25 μ m
R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	3,35 μ m
R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	4,45 μ m
R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	3,20 μ m
R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	4,6 μ m

*Influența avansului de așchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula
CC670*

Pentru a vedea influența avansului de așchiere trebuie comparate valorile abaterii de la circularitate obținute cu regimurile R1 și R2, R3 și R4, R5 și R6, R7 și R8. În cazul comparării valorilor pentru abaterea la circularitate obținută cu regimurile R1 și R2 se observă o tendință contrară așteptărilor și anume la creșterea avansului de la $f_n=0,06$ mm/rot la $f_n=0,22$ mm/rot are loc o îmbunătățire a abaterii la circularitate. Acest lucru poate fi explicat ținând cont de faptul că abaterea corespunzătoare figurii 4.178A a fost măsurată pe primul tronson al tubului conform figurii 4.179.

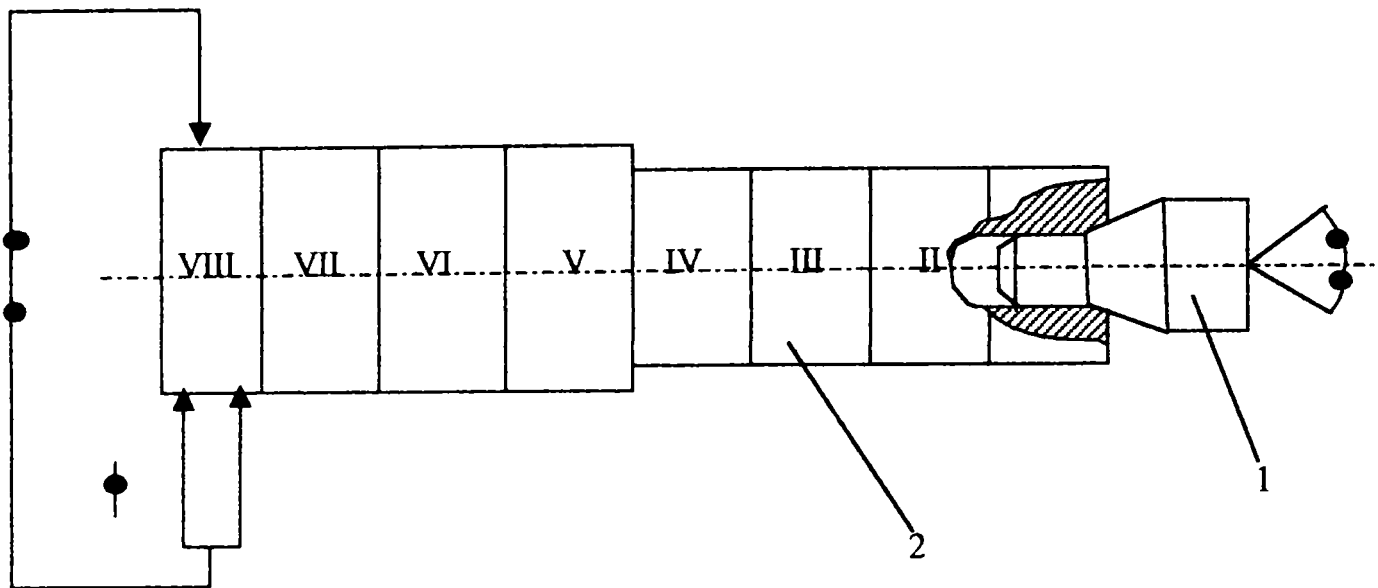


Figura 4.179. Schema de prindere a semifabricatului în vederea experimentelor cu privire la precizia de prelucrare 1 – dorn de fixare, 2 - semifabricat

Dat fiind faptul că tronșonul I se află la capătul opus care este prins în universal este posibil ca fixarea pe con dintre semifabricat și dornul de fixare să nu fi fost perfectă și în acest fel să apară o bătaie radială care să genereze abaterea de la circularitate foarte mare pe tronșonul I. S-a ajuns la această concluzie deoarece și în cazul altor materiale de sculă (CC650, DBC50) a apărut același fenomen. Prin urmare în această situație nu poate fi făcută o apreciere corectă în ceea ce privește influența avansului asupra abaterii la circularitate. În continuare nu vor mai fi luate în seamă comparațiile cu acest prim tronșon. În cazul comparării figurilor 4.178C și 4.179D corespunzătoare regimurilor de așchiere R3 și R4 se observă o creștere a abaterii la circularitate odată cu creșterea avansului de la $f_n=0,06$ mm/rot la $f_n=0,22$ mm/rot pentru $V_c=180$ m/min și $a_p=0,5$ mm. Comparându-se în continuare rezultatele obținute la folosirea regimurilor R5 și R6, R7 și R8 corespunzătoare figurilor 4.178E și F respectiv 4.178 G și H se observă că de fiecare dată creșterea avansului are loc o creștere a abaterii la circularitate.

Influența vitezei de așchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula CC670

Pentru a analiza influența vitezei de așchiere asupra abaterii la circularitate se vor analiza perechile de figuri 4.178A cu C corespunzătoare regimurilor R1 și R3, B cu D corespunzătoare regimurilor R2 și R4, F cu G corespunzătoare regimurilor R5 și R7 și E cu H corespunzătoare regimurilor R6 cu R8. După cum am mai menționat anterior nu vom considera perechea A/C din considerentele arătate mai sus. În cazul perechii B/D,

corespunzătoare regimurilor R2 și R4 se observă că variația vitezei de de așchiere nu produce nici un fel de efect asupra abaterii la circularitate. În cazul perechii E/G (R5 și R7) ca și în cazul perechii F/H (R6 și R8) diferențele între abaterile de la circularitate în funcție de variația vitezei sunt foarte mici pentru a se considera că viteza are o influență semnificativă asupra abaterii la circularitate.

*Influența adâncimii de așchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula
CC670*

În acest caz se vor studia perechile de figuri A/E (R1/R5), B/F (R2/R6), C/G (R3/R7), D/H (R4/R8). Eliminând cazul A/E (R1/R5) în toate celelalte situații se observă că diferențele între abaterile la circularitate obținute în funcție de variația adâncimii de așchiere sunt sub 0,03 μm. Se poate aprecia deci că nici variația adâncimii de așchiere nu influențează în mod deosebit abaterea la circularitate.

În tabelul 4.47 sunt prezentate rezultatele obținute pentru abaterea de la circularitate utilizând cele opt regimuri de așchiere, iar în figura 4.180 sunt prezentate abaterile de la circularitate înregistrate în cazul celor opt regimuri de așchiere utilizate la strunjirea cu scula CC650.

Tabel 4.47. Abaterea de la circularitate în funcție de materialul de sculă și regimul de așchiere folosit

Material de sculă Regim de așchiere	CC650
R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	5,75 μm
R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	3,00 μm
R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	1,90 μm
R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	3,30 μm
R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	1,75 μm
R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	3,20 μm
R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	1,95 μm
R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	3,00 μm

RTH TR4 V05.45 SO/L 02.06 PR			12-MULTILOT	
Daewoo Automobile Romania		G1214W012/00	05/03/2001	13:41:29
Directia Calitate / Serviciul Calitate Proces				
Sala De Masuratori				
Programare si operare:				

RTH

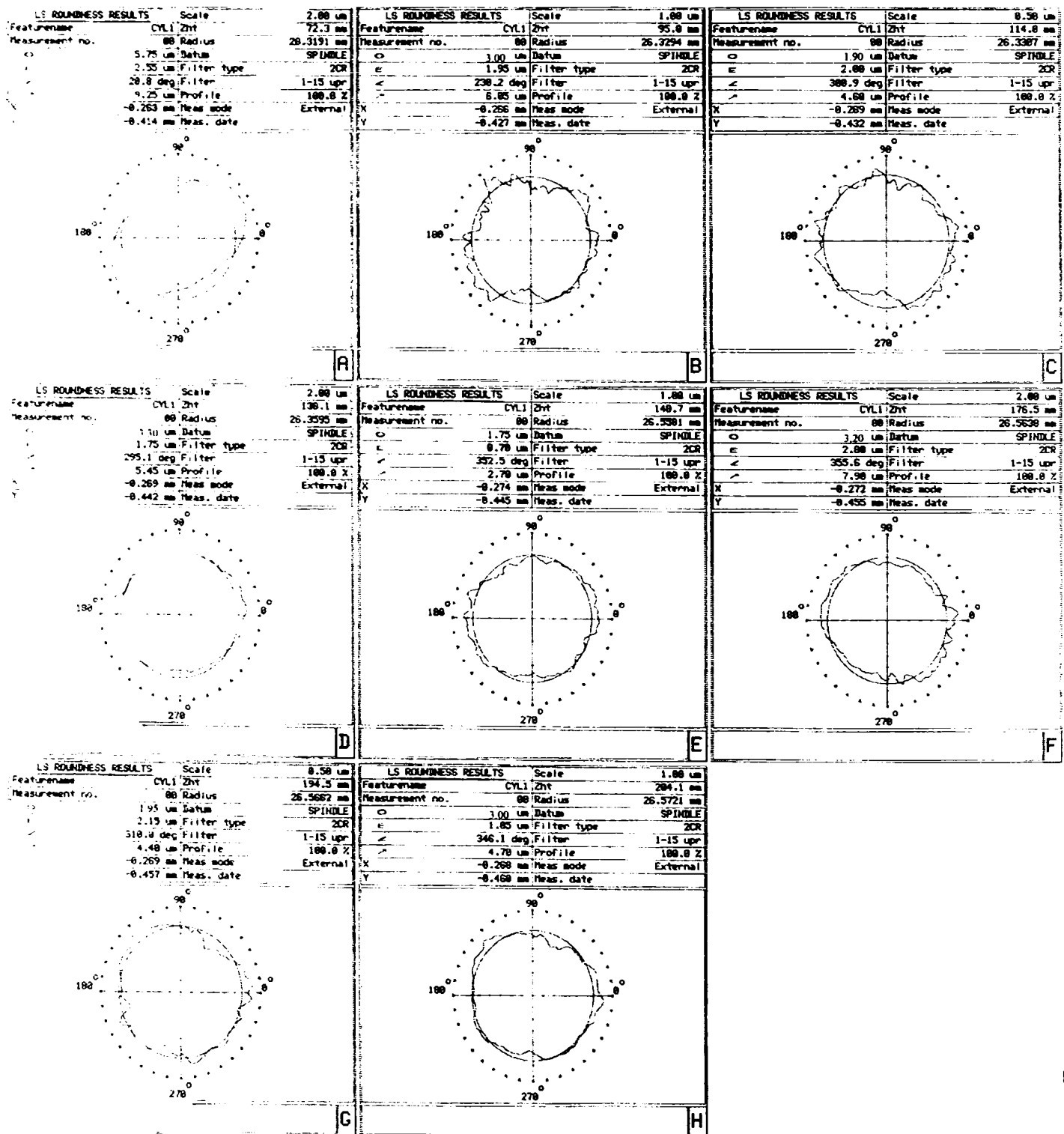


Figura 4.180. Abaterile de la circularitate în cazul aşchierii oțelului 100 Cr6 cu scula CC650 utilizând opt regimuri de aşchiere diferite

La fel ca și în cazul precedent a apărut și în acest caz fenomenul legat de abaterea de la circularitate înregistrată pe primul tronson. Prin urmare nu va fi luată în considerare valoarea acestei abateri din considerentele prezentate anterior.

*Influența avansului de așchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula
CC650*

Pentru a vedea influența avansului asupra abaterii la circularitate se vor compara valorile obținute cu pentru următoarele perechi de figuri 4.180 A/B (R1/R2), 4.180 C/D (R3/R4), 4.180 E/F (R5/R6) și 4.180 G/H (R7/R8). Dacă se elimină rezultatele corespunzătoare perechii A/B (R1/R2) care include primul tronson rămân trei perechi de analizat. În cazul perechii C/D (R3/R4) se observă că la creșterea avansului de la 0,06 la 0,22 mm/rot pentru $V_c=180$ m/min și $a_p=0,5$ mm are loc o creștere semnificativă a abaterii de la circularitate de la 1,9 la 3,30 μm . De asemenea pentru perechea E/F (R5/R6) în cazul creșterii avansului de la 0,06 mm/rot la 0,22 mm/rot, pentru $V_c=100$ m/min și $a_p=0,25$ mm, abaterea de la circularitate crește de la 1,75 la 3,20 μm . Același lucru se observă și pentru perechea G/H (R7/R8) unde la creșterea avansului de așchiere de la 0,06 mm/rot la 0,22mm/rot pentru $V_c=180$ m/min și $a_p=0,25$ mm are loc o creștere a abaterii de la circularitate de la 1,95 la 3 μm .

În toate cazurile prezentate a avut loc o creștere a abaterii de circularitate de peste un micrometru la creșterea avansului. Acest lucru denotă influența avansului de așchiere asupra abaterii de la circularitate.

Influența vitezei de așchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula CC650

În această situație se vor analiza următoarele perechi de figuri 4.180 A/C (R1/R3), 4.4.43 B/D (R2/R4), 4.4.43 E/G (R5/R7) și 4.4.43 F/H (R6/R8). Nu se va considera perechea A/C deoarece include primul tronson și se vor analiza celelalte trei perechi. În cazul perechii B/D (R2/R4) se observă că la o creștere a vitezei de așchiere de la 100 la 180 m/min pentru $f_n=0,22$ mm/rot și $a_p=0,5$ mm are loc o creștere a abaterii de la circularitate de 0,3 μm . În cazul perechilor E/G (R5/R7) și F/H (R6/R8) diferențele înregistrate pentru abaterea de la circularitate sunt chiar mai mici 0,25 μm și respectiv 0,2 μm . Ca atare nu se poate aprecia că variația vitezei de așchiere are o influență notabilă asupra abaterii de la circularitate.

*Influența adâncimii de așchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula
CC650*

Pentru a se analiza influența adâncimii de așchiere se vor considera perechile de figuri

4.180 A/E (R1/R5), 4.180 B/F (R2/R6), 4.180 C/G (R3/R7) și 4.180 D/H (R4/R8). Nici în acest caz nu se va considera perechea 4.180 A/E (R1/R5) deoarece include primul tronson.

În cazul perechilor 4.180 B/F (R2/R6), 4.180 C/G (R3/R7) și 4.180 D/H (R4/R8) variația abaterii de la circularitate este de 0,2; 0,05 și respectiv 0,3 μm , ceea ce arată că nici variația adâncimii de așchiere nu are o influență deosebită asupra abaterii de la circularitate.

În figura 4.181 sunt prezentate valorile abaterii de la circularitate înregistrate la strunjirea cu scula CB7020 pentru toate cele opt regimuri de așchiere utilizate .

În tabelul 4.48 sunt prezentate valorile abaterii de la circularitate în micrometri, obținute pentru fiecare regim de așchiere din cele opt utilizate, folosind o plăcuță așchietoare CB7020.

Tabel 4.48. Abaterea de la circularitate în funcție de materialul de sculă și regimul de așchiere folosit

Material de sculă Regim de așchiere	CB7020
R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	1,75 μm
R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	2,60 μm
R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	1,80 μm
R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	2,90 μm
R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	1,95 μm
R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	2,70 μm
R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	1,75 μm
R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	2,75 μm

RTH TR4 V05.45 SO/L 02.06 PR 12-MULTIPLIER
 Daewoo Automobile Romania G1214W012/00 05/03/2001 12:58:39 RTH
 Directia Calitate / Serviciul Calitate Proces
 Sala De Masuratori
 Programare si operare:

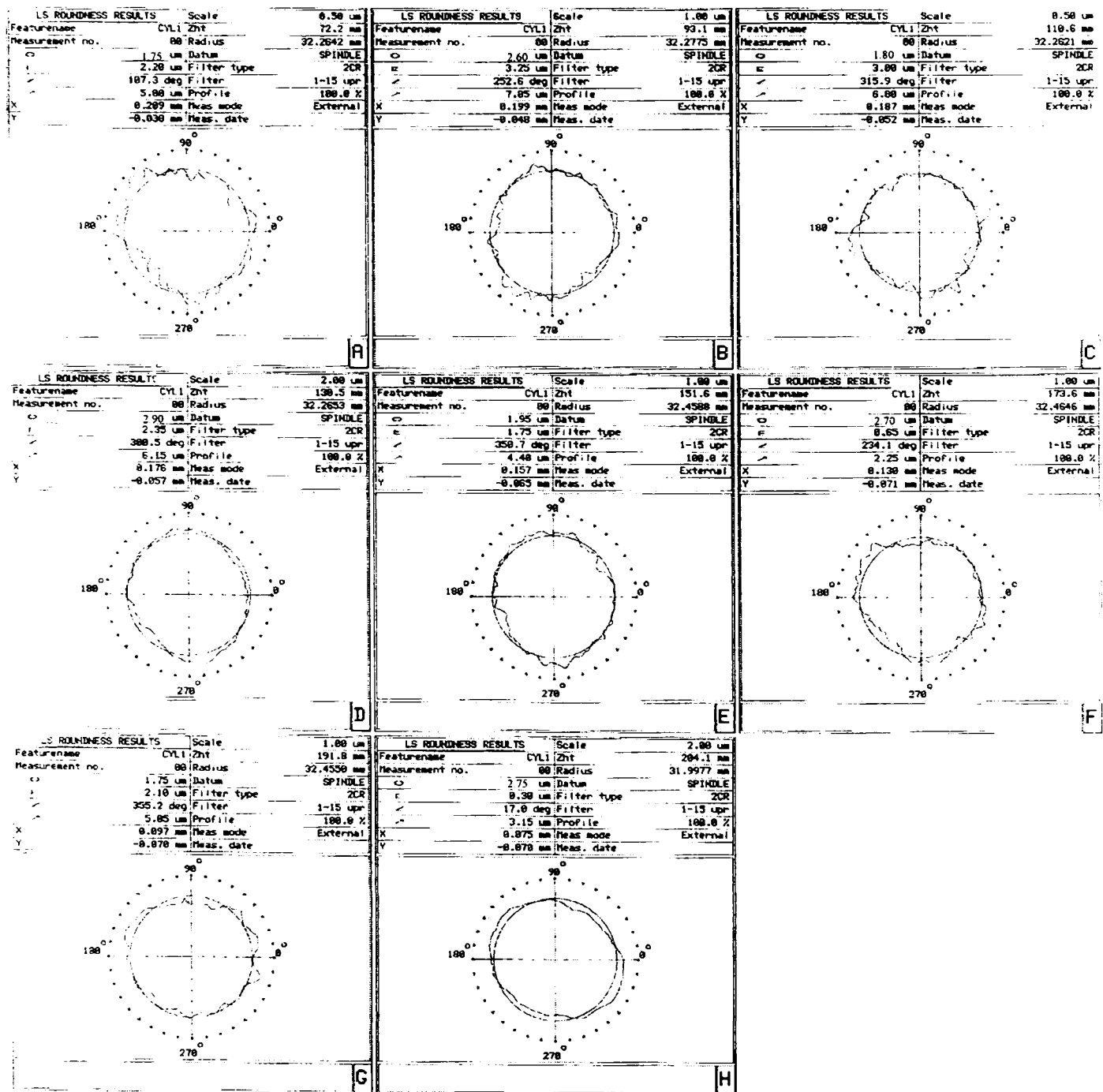


Figura 4.181. Abaterile de la circularitate în cazul aşchierii oțelului 100 Cr6 cu scula CB7020 utilizând opt regimuri de aşchiere diferite

*Influența avansului de aşchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula**CB7020*

Ca și în cazurile precedente pentru analiza influenței avansului asupra abaterii de la circularitate se vor considera figurile 4.181 A/B (R1/R2), 4.181 C/D (R3/R4), 4.181 E/F (R5/R6), 4.181 G/H (R7/R8). În acest caz valorile înregistrate pe primul tronson vin să confirme tendința de creștere a abaterii de la circularitate odată cu creșterea avansului înregistrată în cazul celorlalte trei perechi de figuri și deci poate fi luată în considerare. Probabil că în acest caz ca și în cazul aşchierii cu scula DBN45, între semifabricat (zona corespunzătoare tronsonului I) și dornul de fixare a existat o fixare mai bună care nu a condus la bătăi radiale excesive care să altereze rezultatul abaterii la circularitate. Analizând perechea de figuri A/B (R1/R2) se observă că la creșterea avansului de la 0,06 mm/rot la 0,22 mm/rot pentru $V_c=100$ m/min și $a_p=0,5$ mm, abaterea de la circularitate crește de la 1,75 la 2,6 μm .

În cazul figurilor C/D (R3/R4) pentru aceeași variație a avansului dar la o viteză de aşchiere mai mare $V_c=180$ m/min și $a_p=0,5$ mm, abaterea de la circularitate crește de la 1,80 la 2,9 μm . Pentru perechea E/F (R5/R6) variația avansului de la 0,06 mm/rot la 0,22 mm/rot pentru $V_c=100$ m/min și $a_p=0,25$ mm, conduce la o creștere a abaterii de la circularitate de la 1,95 la 2,7 μm .

În fine pentru figurile G/H (R7/R8) la aceeași variație a avansului de la 0,06 mm/rot la 0,22 mm/rot pentru $V_c=180$ m/min și $a_p=0,25$ mm, rezultă o creștere a abaterii de la circularitate de la 1,75 la 2,75 μm . În urma celor prezentate se poate vedea că o creștere a avansului duce la creșterea abaterii de la circularitate.

Influența vitezei de aşchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula CB7020

În această situație se vor analiza figurile 4.181 A/C (R1/R3), 4.181 B/D (R2/R4), 4.181 E/G (R5/R7) și 4.181 F/H (R6/R8). În cazul analizării figurilor A/C (R1/R3) se vede că diferența dintre valorile abaterii de la circularitate este de 0,05 μm la o variație a vitezei de la 100 la 180 m/min pentru $f_n=0,06$ mm/rot și $a_p=0,5$ mm.

În cazul figurilor B/D (R2/R4) diferența dintre valorile abaterii de la circularitate este de 0,3 μm . În cazul figurilor E/G (R5/R7) diferența dintre valorile abaterii de la circularitate este de 0,25 μm . În cazul figurilor F/H (R6/R8) diferența dintre valorile abaterii de la circularitate este de 0,05 μm . Se vede că diferențele înregistrate pentru valorile abaterii de la circularitate atunci când are loc o variație a vitezei de aşchiere sunt foarte mici deci se

poate spune că viteza de aşchiere nu influenţează foarte mult abaterea de la circularitate la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC folosind plăcuța aşchietoare CB7020.

Influența adâncimii de aşchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula CB7020

Pentru a studia influența adâncimii de aşchiere la strunjirea cu scula CB7020 se vor analiza perechile de figuri 4.181 A/E (R1/R5), 4.181 B/F (R2/R6), 4.181 C/G (R3/R7) și 4.181 D/H (R4/R8). În prima situație A/E (R1/R3) se observă o variație a abaterii de la circularitate de 0,2 μm, la creșterea adâncimii de aşchiere, iar în celelalte cazuri variația abaterii de la circularitate nu depășește 0,15 μm. Se poate deci aprecia că și în acest caz ca și în cazul celorlalte materiale de sculă deja prezentate, adâncimea de aşchiere nu influențează în mod decisiv abaterea de la circularitate.

În figura 4.182 sunt prezentate abaterile de la circularitate în cazul aşchierii cu scula DBN45 cu cele opt regimuri de aşchiere utilizate, iar în tabelul 4.49 sunt prezentate sintetizat aceste valori pentru abaterea de la circularitate în funcție de fiecare regim de aşchiere utilizat.

Tabel 4.49. Abaterea de la circularitate în funcție de materialul de sculă și regimul de aşchiere folosit

Material de sculă Regim de aşchiere	DBN45
R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	2,00 μm
R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	3,00 μm
R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	2,05 μm
R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	3,25 μm
R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	2,05 μm
R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	3,10 μm
R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	1,85 μm
R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	3,20 μm

RTH TR4 V05.45 SO/L 02.06 PR	12-MULTILOT	RTH		
Daewoo Automobile Romania	G1214W012/00		06/03/2001	11:18:26
Directia Calitate / Serviciul Calitate Proces				
Sala De Masuratori				

Programare si operare:

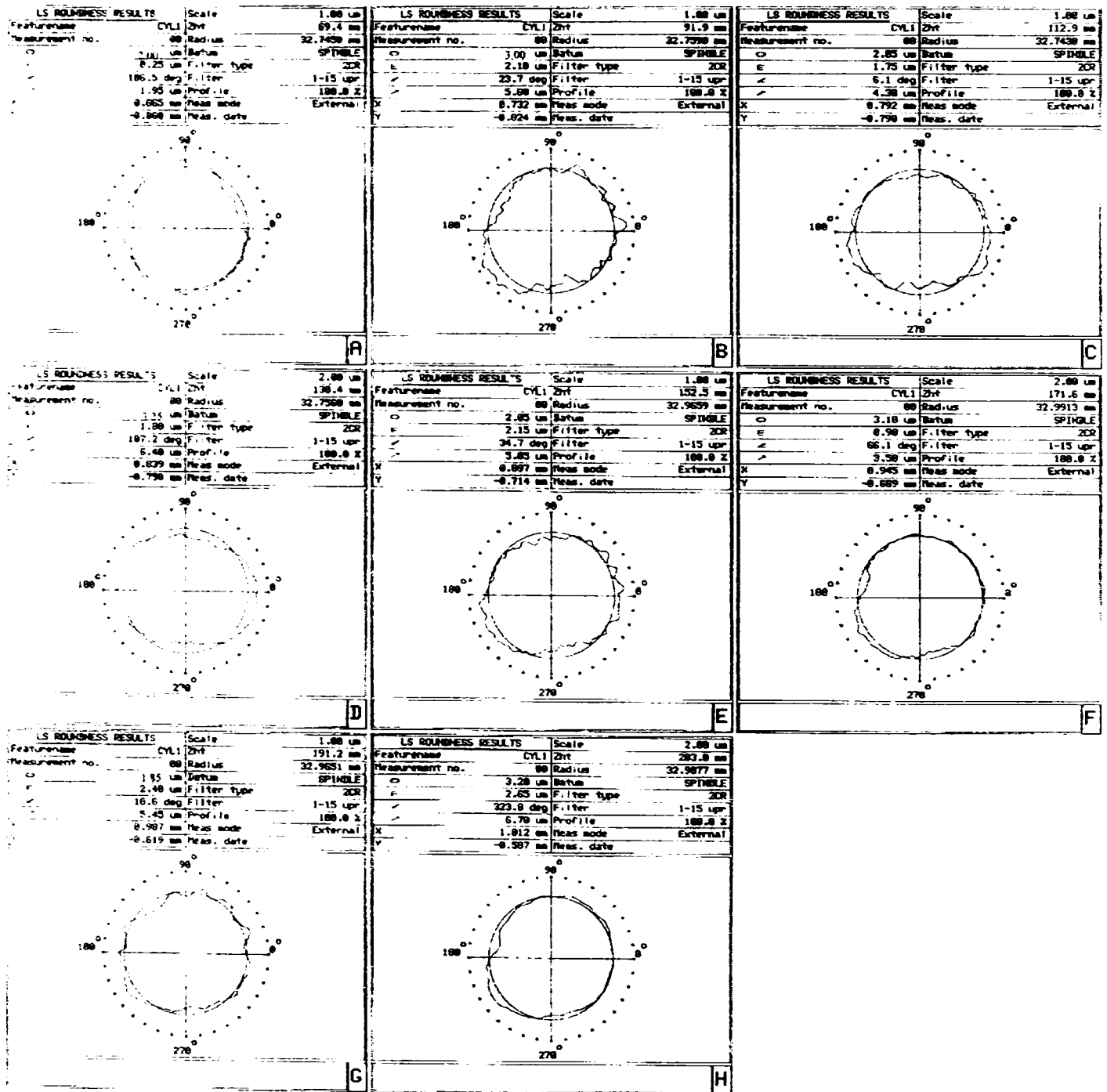


Figura 4.182. Abaterile de la circularitate în cazul aşchierii oțelului 100 Cr6 cu sula DBN45 utilizând opt regimuri de aşchiere diferite

*Influența avansului de aşchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula**DBN45*

Aşa cum s-a procedat și în cazurile anterioare pentru a analiza influența avansului de aşchiere asupra abaterii de la circularitate se vor analiza figurile 4.182 A/B (R1/R2), 4.182C/D (R3/R4), 4.182 E/F (R5/R6) și 4.182 G/H (R7/R8). În acest caz ca și în cazul sculei CB7020 valoarea înregistrată pe primul tronson corespunzător abaterii de la circularitate prezentate în figura 4.182 A confirmă tendința de creștere a abaterii de la circularitate odată cu creșterea avansului la fel ca și pentru celelalte trei perechi de tronsoane și prin urmare va fi luată în considerare. Se pare că și de această dată la fel ca în cazul aşchierii cu scula CB7020, s-a realizat o fixare mai bună a semifabricatului pe dornul de fixare și deci nu a existat o bătaie radială care să modifice în sens negativ rezultatul.

În cazul figurilor A/C (R1/R2) creșterea avansului implică o creștere a abaterii de la circularitate de la 2 la 3 μm .

În cazul figurilor B/D (R3/R4) creșterea avansului duce la o creștere a abaterii de la circularitate de la 2,05 la 3,25 μm .

În cazul figurilor E/F (R5/R6) creșterea avansului are ca rezultat o creștere a abaterii de la circularitate de la 2,05 la 3,10 μm , iar pentru figurile G/H (R7/R8) variația avansului conduce la o creștere a valorii abaterii de la circularitate de la 1,85 la 3,20 μm . Este evident că și în cazul sculei DBN45 la fel ca și în cazul celorlalte materiale de sculă analizate are loc o creștere a valorii abaterii de la circularitate odată cu creșterea avansului de aşchiere.

Influența vitezei de aşchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula DBN45

În acest caz vor fi analizate rezultatele abaterii de la circularitate înregistrate în următoarele figuri 4.182 A/C (R1/R3), 4.182 B/D (R2/R4), 4.182 E/G (R5/R7) și 4.182F/H (R6/R8). Analizând perechea A/C (R1/R3) se vede că o creștere a vitezei de aşchiere de la $V_c=100$ m/min la $V_c=180$ m/min pentru $f_n=0,06$ mm/rot și $a_p=0,5$ mm duce la o creștere a abaterii la circularitate de la 2 la 2,05 μm , deci de 0,05 μm .

În cazul figurilor B/D (R2/R4) variația abaterii de la circularitate este de 0,25 μm , în cazul figurilor E/G (R5/R7) de 0,2 μm , iar în cazul figurilor F/H (R6/R8) de 0,1 μm . Cu alte cuvinte putem aprecia că variația vitezei de aşchiere de la 100 m/min la 180 m/min

nu afectează abaterea de la circularitate în cazul aşchierii oțelului 100 Cr6 cu duritatea 60-62 HRC. utilizând o sculă DBN45.

Influența adâncimii de aşchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula DBN45

Se vor analiza în acest caz perechile de figuri următoare: 4.182 A/E (R1/R5), 4.182B/F (R2/R6), 4.182 C/G (R3/R7) și 4.182 F/H (R4/R8).

În cazul A/E (R1/R5) variația adâncimii de aşchiere duce la o variație a abaterii de la circularitate de numai 0.05 μm . iar în cazul B/F (R2/R6) se înregistrează o variație a abaterii de la circularitate de 0.1 μm . Pentru cazurile C/G (R3/R7) și F/H (R4/R8) se înregistrează variații ale abaterii de la circularitate de 0,2 μm și respectiv 0,1 μm . În urma celor prezentate reiese că nici variația adâncimii de aşchiere nu produce o influență majoră asupra abaterii de la circularitate în cazul aşchierii cu scula DBN45.

În figura 4.183 și în tabelul 4.50 sunt prezentate valorile abaterii de la circularitate în cazul strunjirii oțelului 10Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula DBC50, folosind cele opt regimuri de aşchiere utilizate și pentru celelalte materiale de sculă.

Tabel 4.50. Abaterea de la circularitate în funcție de materialul de sculă și regimul de aşchiere folosit

Material de sculă	DBC50
Regim de aşchiere	
R1: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	5,35 μm
R2: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	3,10 μm
R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	2,20 μm
R4: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm	3,20 μm
R5: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	2,35 μm
R6: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	3,10 μm
R7: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	2,30 μm
R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm	3,15 μm

RTH TR4 V05.45 SO/L 02.06 PR	12-MULTILOT
Daewoo Automobile Romania G1214W012/00	06/03/2001 12:03:22
Directia Calitate / Serviciul Calitate Proces	
Sala De Masuratori	
Programare si operare:	

RTH

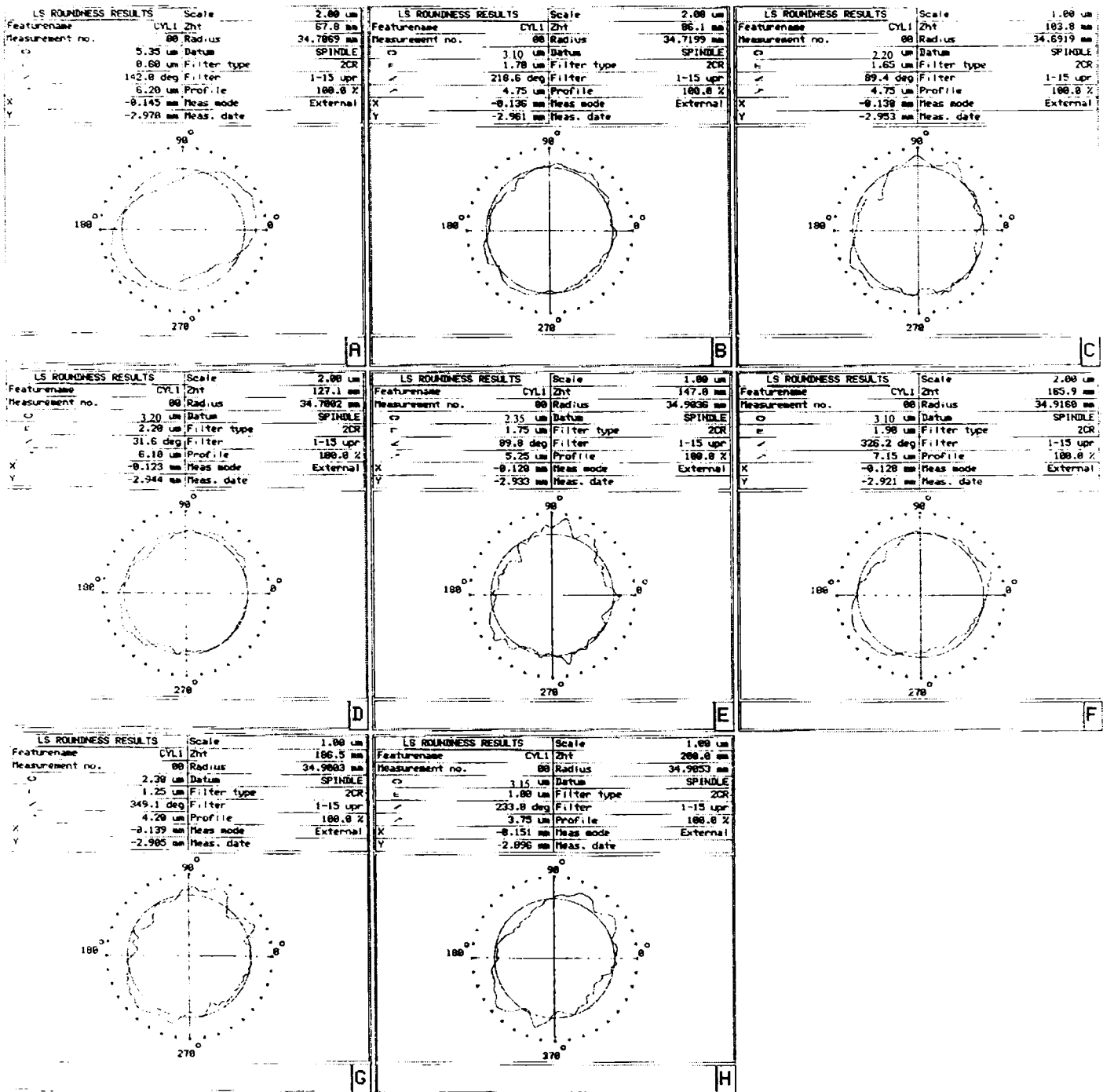


Figura 4.183. Abaterile de la circularitate în cazul aşchierii oțelului 100 Cr6 cu scula DBC50 utilizând opt regimuri de aşchiere diferite

*Influența avansului de aşchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula
DBC50*

Pentru studiul influenței avansului de aşchiere se vor analiza rezultatele înregistrate pentru abaterea de la circularitate pentru următoarele perechi de figuri: 4.183 A/B (R1/R2), 4.183 C/D (R3/R4), 4.183 E/F (R5/R6) și 4.183 G/H (R7/R8). S-a observat că în acest caz, valoarea obținută pe primul tronson corespunzător figurii 4.183 A nu vine să confirme creșterea abaterii de la circularitate odată cu creșterea avansului ca și în cazul celorlalte tronsoane C/D (R3/R4), E/F (R5/R6) și G/H (R7/R8). Explicația pentru acest fapt poate fi aceeași ca și în cazul sculelor CC670 și CC650 și anume că nu s-a realizat o fixare corespunzătoare între semifabricat și dornul de fixare în zona primului tronson care se află la capătul opus al barei prinsă în universal, și ca atare bătaia radială a fost mare. Prin urmare nu va fi luată în considerare în acest caz valoarea abaterii de la circularitate înregistrată pe primul tronson și se vor considera numai figurile C/D (R3/R4), E/F (R5/R6) și G/H (R7/R8).

În cazul C/D (R3/R4) la creșterea avansului are loc o creștere a abaterii de la circularitate de la 2,20 la 3,20 μm . În cazul E/F (R5/R6) creșterea avansului implică o creștere a abaterii de la circularitate de la 2,35 la 3,10 μm , iar în cazul G/H (R7/R8) creșterea avansului are ca rezultat creșterea abaterii de la circularitate de la 2,30 la 3,15 μm . Din cele prezentate reiese că la o creștere a avansului de aşchiere are loc o creștere a valorii abaterii de la circularitate, lucru constatat și în cazul celorlalte materiale de sculă analizate anterior.

Influența vitezei de aşchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula DBC50

În acest caz se vor studia figurile B/D (R2/R4), E/G (R5/R7) și F/H (R6/R8). Pentru perechea B/D (R2/R4), creșterea vitezei de aşchiere de la 100 m/min la 180 m/min duce la o creștere a abaterii de la circularitate de la 3,10 la 3,20 μm , deci de numai 0,1 μm . În celelalte două cazuri E/G (R5/R7) și F/H (R6/R8) se înregistrează o variație a abaterii de la circularitate de 0,05 μm . În acest fel se poate concluziona că influența vitezei de aşchiere asupra abaterii de la circularitate este foarte redusă.

*Influența adâncimii de aşchiere asupra abaterii la circularitate la strunjirea cu scula
DBC50*

Pentru a analiza influența adâncimii de aşchiere s-au analizat figurile B/F (R2/R6), C/G (R3/R7) și D/H (R4/R8). În cazul B/F (R2/R6), la o variație a adâncimii de aşchiere

de la 0.5 la 0.25 mm nu se înregistrează nici o variație a valorii abaterii de la circularitate, valoarea ei rămânând constantă 3,10 μm . În celelalte două cazuri C/G (R3/R7) și D/H (R4/R8) variația pentru abaterea de la circularitate a fost de 0,1 și respectiv 0.05 μm . Se confirmă în acest fel rezultatele obținute și la celelalte patru materiale de sculă care arată că adâncimea de așchiere nu influențează abaterea de la circularitate.

În urma celor prezentate se poate concluziona că singurul parametru al regimului de așchiere care influențează în mod semnificativ abaterea de la circularitate este avansul de așchiere, ceilalți doi parametri și anume viteza și adâncimea de așchiere având o influență practic insesizabilă asupra abaterii de la circularitate. Același lucru a fost observat și în cazul analizei influenței parametrilor regimului de așchiere asupra rugozității suprafeței așchiate.

Se poate deci spune că singurul factor care afectează precizia de prelucrare în mod evident, în cazul strunjirii oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, îl constituie avansul de așchiere și că ceilalți doi parametri ai regimului de așchiere au o influență insignifiantă asupra preciziei de prelucrare în comparație cu avansul de așchiere.

Referitor la influența materialului de sculă asupra preciziei de prelucrare dacă se analizează comparativ figurile 4.178;4.180;4.181,4.182 și 4.183 precum și tabelele 4.46–4.50 rezultatele pot fi sintetizate într-un tabel de forma:

Tabel 4.51. Abaterea de la circularitate înregistrată la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC în funcție de materialul sculei și regimurile de așchiere folosite.

Regimul de așchiere Material sculă	A(R1)	B(R2)	C(R3)	D(R4)	E(R5)	F(R6)	G(R7)	H(R8)
CC670	7,85	4,25	3,45	4,25	3,35	4,45	3,20	4,60
CC650	5,75	3,00	1,90	3,30	1,75	3,20	1,95	3,00
CB7020	1,75	2,60	1,80	2,90	1,95	2,70	1,75	2,75
DBN45	2,00	3,00	2,05	3,25	2,05	3,10	1,85	3,20
DBC50	5,35	3,10	2,20	3,20	2,35	3,10	2,30	3,15

Concluzii

Dacă se analizează tabelul de mai sus putem concluziona că:

- Atunci când s-a utilizat scula din nitrură cubică de bor policristalină (NCBP) - CB7020 au fost obținute cele mai mici valori pentru abaterea de la circularitate pentru toate regimurile de aşchiere folosite urmată fiind de scula DBN45. Scula DBC50, de asemenea o sculă din nitrură cubică de bor policristalină prezintă performanțe apropiate de ceramica CC650.
- Cele mai slabe performanțe au fost înregistrate cu scula CC670. Faptul că sculele din nitrură cubică de bor sunt superioare în ceea ce privește performanțele realizate referitoare la abaterea de la circularitate față de sculele ceramice ar putea avea următoarea explicație. Sculele din NCBP având o duritate mare prezintă și o rezistență mai mare a tăișului sculei, fapt care face să fie păstrată muchia aşchietoare intactă un timp mai îndelungat decât în cazul ceramicelor.
- Un alt aspect ce ar putea explica superioritatea sculelor din nitrură cubică de bor policristalină față de sculele ceramice îl constituie conductibilitatea termică mai ridicată a acestor scule în raport cu sculele ceramice. În acest fel capacitatea sculelor din nitrură cubică de bor de a disipa căldura din zona de aşchiere și deci implicit din zona muchiei aşchietoare, este mai mare. Prin urmare riscul deformării muchiei aşchietoare datorită temperaturilor ridicate atinse în procesul de aşchiere în stare dură este mai mic pentru materialele din nitrură cubică de bor policristalină decât pentru sculele ceramice.
- În ceea ce privește rugozitatea suprafețelor aşchiate Ra, putem spune că singurul factor care afectează precizia de prelucrare la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, într-un mod evident, este avansul de aşchiere.

4.5. Cercetări privind influența parametrilor regimului de așchiere și a materialului sculei asupra temperaturii din zona de așchiere

Așa cum s-a menționat în capitolul 3 paragraful 3.2 al acestei lucrări, pentru cercetările referitoare la influența parametrilor regimului de așchiere și a materialului sculei asupra temperaturii din zona de așchiere, s-au folosit cinci materiale de sculă, două ceramice CC670 și CC650 și trei tipuri de plăcuțe din nitrură cubică de bor policristalină CB7020, DBN45 și DBC50. De menționat că și în acest caz toate plăcuțele așchietoare au avut aceeași geometrie și s-a lucrat cu muchii așchietoare neuzate $V_B=0$ mm. Pentru realizarea experimentelor s-a lucrat cu trei regimuri de așchiere diferite variindu-se atât viteza cât și avansul de așchiere.

- R1: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R2: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R3: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Ca material de prelucrat a fost utilizat tot oțelul 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC sub forma unor tuburi. Înregistrările valorilor temperaturii din procesul de așchiere s-au făcut așa cum s-a arătat în paragraful 3.4 cu o termo-cameră cu infraroșii Cyclops Ti 35+. Această termo-cameră are capacitatea de a înregistra 12 imagini pe secundă și de a regla emisivitatea de la 0,1 la 1 în intervale de 0,01. Pentru reglarea emisivității termo-camerei s-a folosit următoarea metodă:

Au fost introduse într-un cuptor cu temperatură controlată câte o plăcuță așchietoare din fiecare material de sculă utilizat și s-a determinat temperatura acestora cu ajutorul unei sonde legate la un termometru.

După aceasta s-a măsurat temperatura fiecărei plăcuțe dar de data aceasta cu ajutorul termo-camerei cu infraroșii Cyclops Ti 35+. Pentru aceasta s-a realizat un montaj ca cel din figura 4.184.

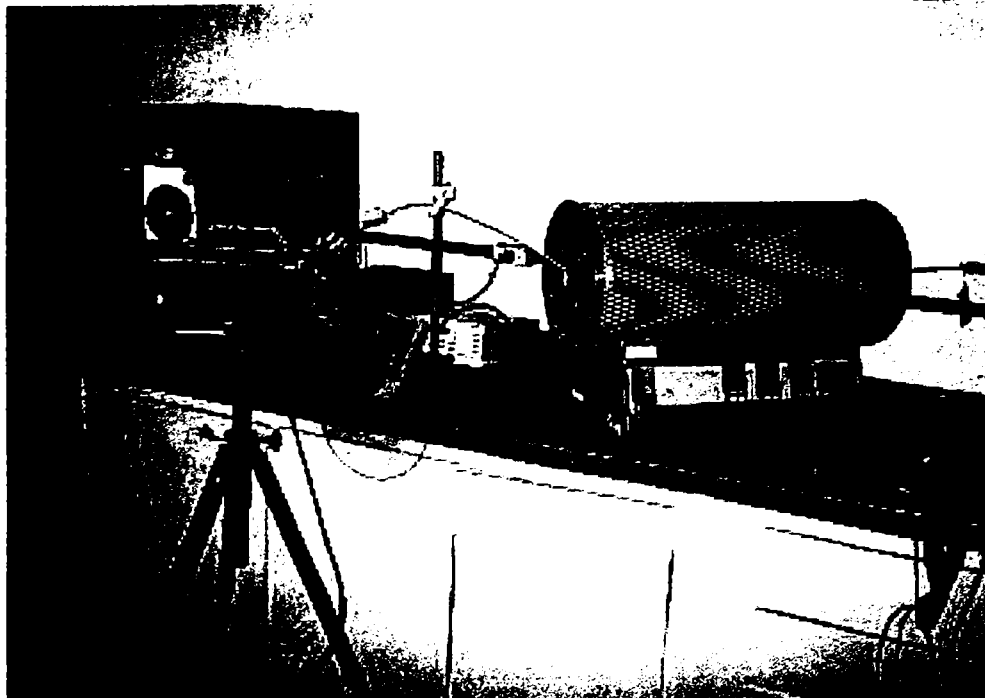


Figura 4.184. Montaj pentru reglarea emisivității termocamerei Cyclops Ti35+

A fost modificată emisivitatea termo-camerei până când temperatura măsurată cu termometrul a coincis cu cea indicată de termo-cameră pentru mai multe paliere de temperatură. Au mai fost luate în considerare și datele din literatura de specialitate referitoare la emisivitatea anumitor materiale. În final s-a fixat emisivitatea la 0,7. Această valoare a fost în concordanță și cu datele existente în lucrări de specialitate ce aveau ca subiect emisivitatea unor materiale de sculă.

După determinarea emisivității s-a realizat montajul care a fost prezentat în figura 3.13, în vederea înregistrării temperaturilor din procesul de așchiere. O mare parte din fotografiile realizate nu au putut fi folosite datorită faptului că deseori așchiile degajate în procesul de așchiere acopereau interfața de contact dintre vârful muchiei așchietoare și semifabricat, împiedicând astfel determinarea temperaturii sculei în zona de așchiere și înregistrând de fapt temperatura așchiei ce părăsea zona de așchiere. În figurile următoare sunt prezentate câteva fotografii realizate cu ajutorul termo-camerei și a programului specializat de achiziționare de date WINLIPS cu înregistrările valorilor temperaturii din zona de contact sculă-piesă, în care este prezentată valoarea maximă atinsă a temperaturii, iar în partea stângă este codul culorilor corespunzător gamei de temperaturi din zona respectivă. Zona încadrată de pătratul alb reprezintă chiar zona de contact dintre vârful muchiei așchietoare și materialul sculei acolo unde se presupune că se înregistrează cea mai ridicată temperatură a

sculei. Apoi s-a făcut o medie a valorilor temperaturilor înregistrate pentru fiecare material de sculă în cadrul aceluiaș regim de așchiere determinându-se în acest fel temperatura medie a vârfului sculei respective pentru regimul de așchiere impus. Pentru fiecare material de sculă utilizat și pentru fiecare regim de așchiere s-au făcut câte trei înregistrări ale temperaturii corespunzătoare realizării unei treceri pe semifabricatul respectiv.

Pentru scula CC670 și regimul de așchiere R1: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm s-au obținut următoarele rezultate: $T_1=658,2^{\circ}\text{C}$, $T_2=609,2^{\circ}\text{C}$, $T_3=591,4^{\circ}\text{C}$. Temperatura medie a fost: $T_{med}=(T_1+T_2+T_3)/3$. $T_{med}=619,6^{\circ}\text{C}$. În figura 4.185, 4.186 și 4.187 sunt prezentate fotografiile în infraroșu corespunzătoare celor trei temperaturi menționate anterior.

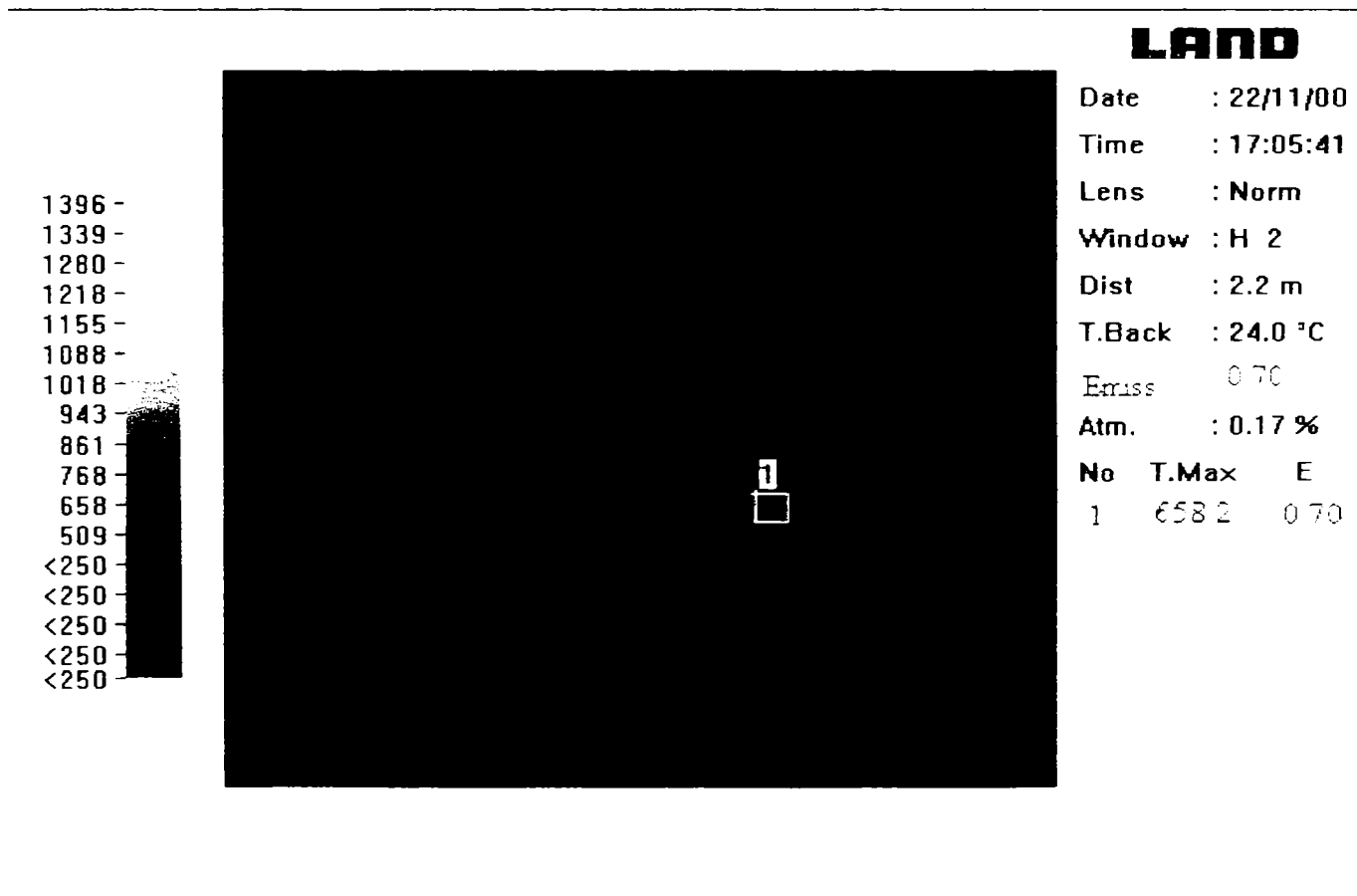


Figura 4.185. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă –semifabricat la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC670 utilizând următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

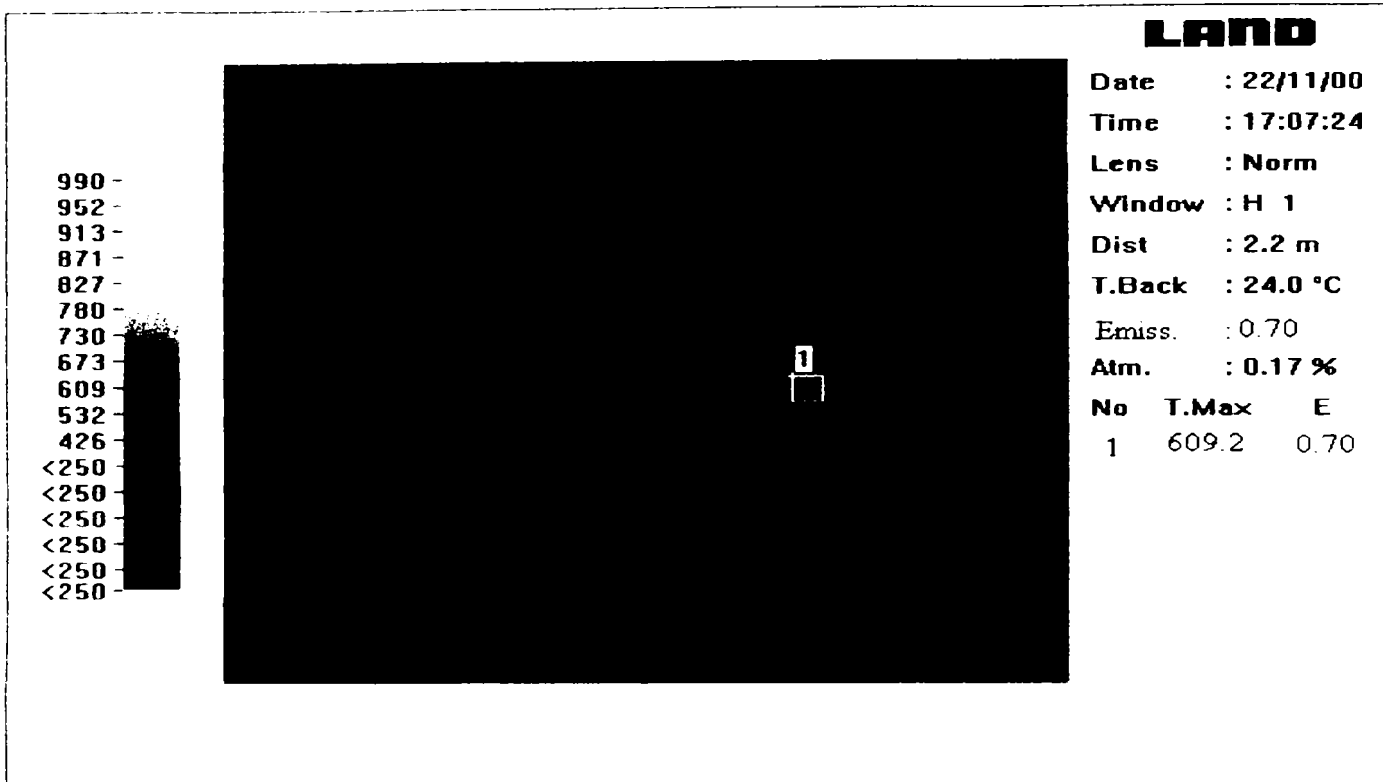


Figura 4.186. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC670 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

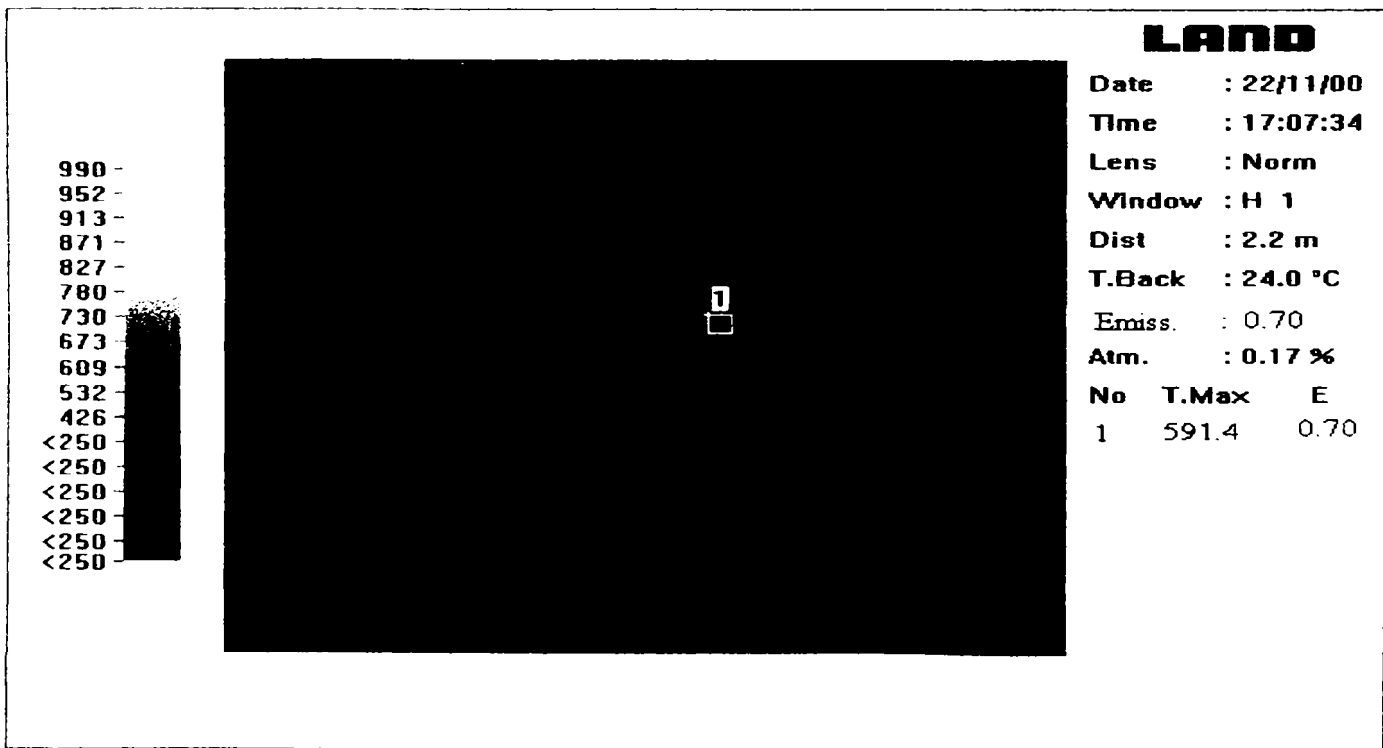


Figura 4.187. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC670 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

În cazul măririi vitezei de aşchiere de la 140 la 180 m/min în condițiile menținerii constante a avansului și adâncimii de aşchiere s-au obținut următoarele temperaturi: $T_1=936,7^{\circ}\text{C}$, $T_2=1021^{\circ}\text{C}$, $T_3=984,6^{\circ}\text{C}$.

Temperatura medie a fost determinată ca și în cazul anterior ca medie aritmetică a celor trei temperaturi înregistrate $T_{\text{med}}=(T_1+T_2+T_3)/3=980,76^{\circ}\text{C}$ pentru regimul de aşchiere R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm. În figurile 4.188, 4.189 și 4.190 sunt prezentate fotografiile în infraroșu cu valorile temperaturii înregistrate în zona de contact sculă-piesă cu ajutorul termo-camerei Cyclops Ti35+.

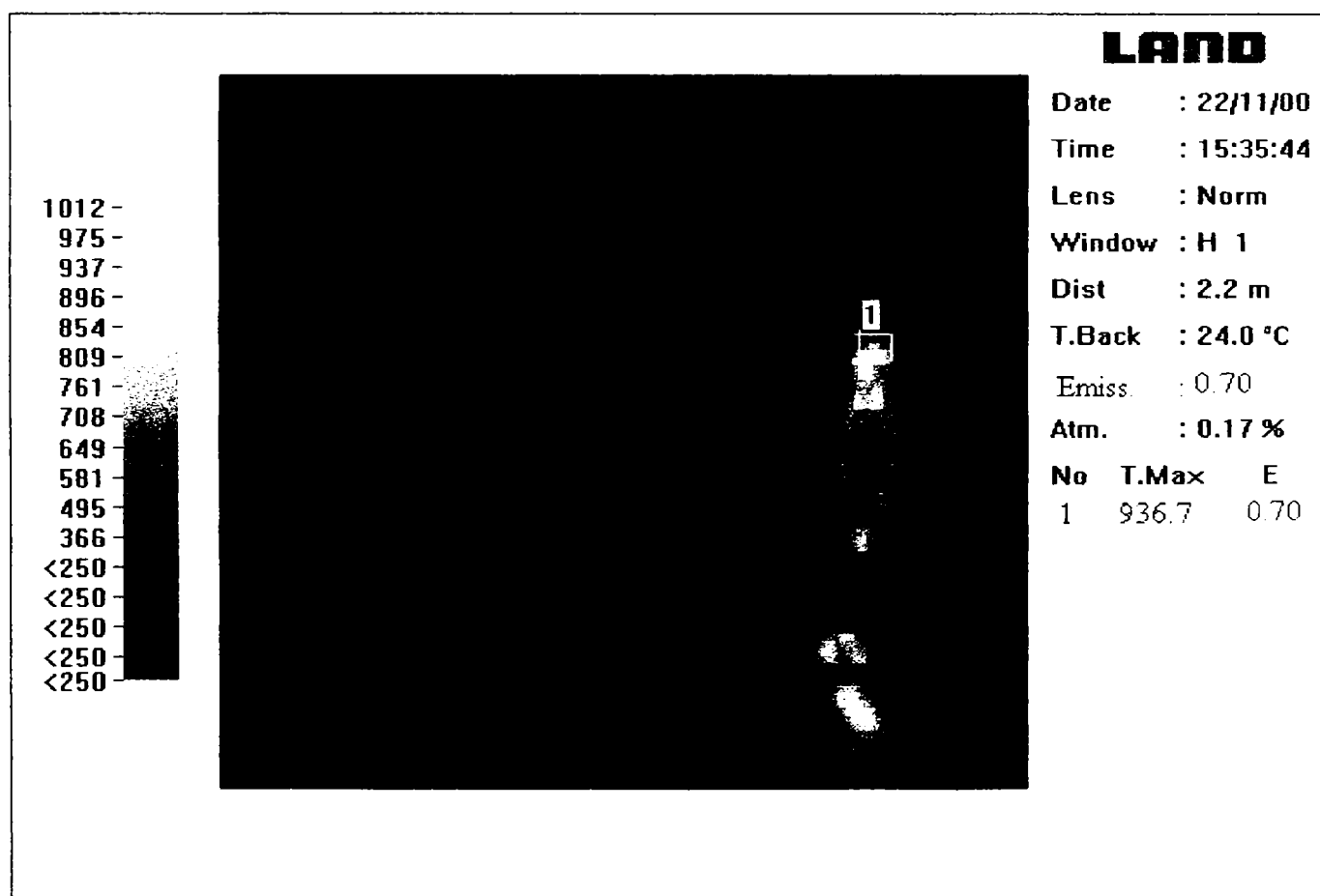


Figura 4.188. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC670 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

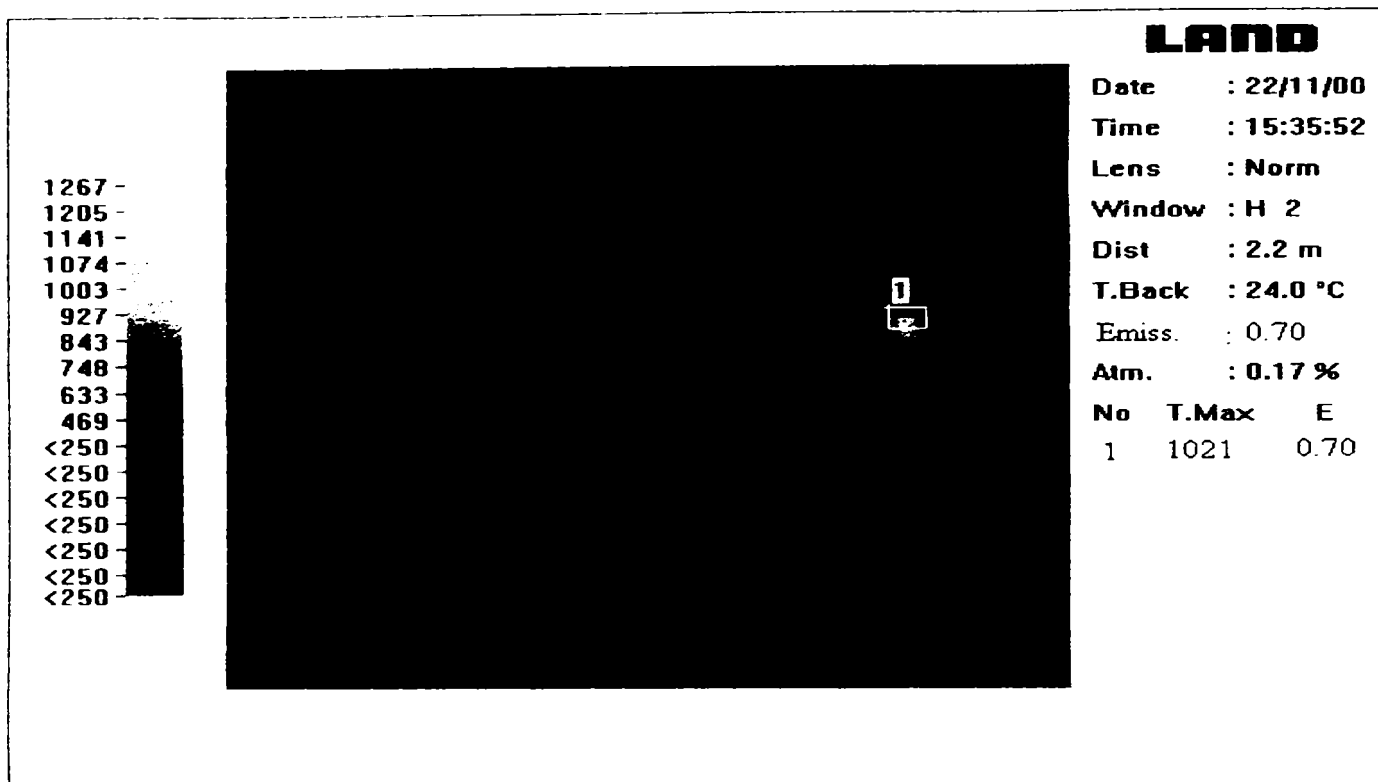


Figura 4.189. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC670 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

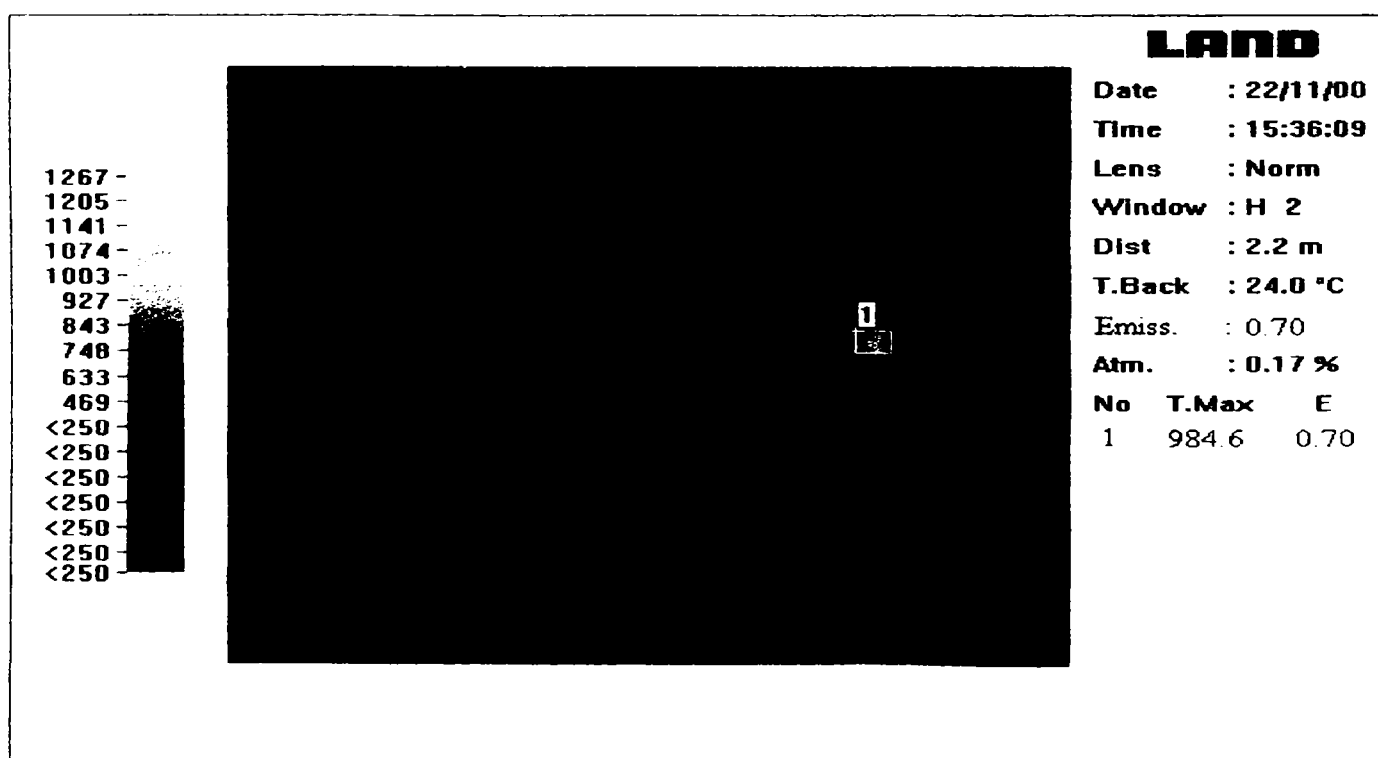


Figura 4.190. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC670 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Variația avansului de așchiere de la valoarea 0,14 mm/rot la 0,22 mm/rot a condus la următoarele valori ale temperaturii: $T_1=932,2^{\circ}\text{C}$, $T_2=891,7^{\circ}\text{C}$, $T_3=918,46^{\circ}\text{C}$. Temperatura medie a fost $T_{\text{med.}}=918,46^{\circ}\text{C}$. În acest caz s-a folosit regimul de așchiere R2: $V_c=140\text{m/min}$, $f_n=0,22\text{ mm/rot}$, $a_p=0,25\text{ mm}$. În figurile 4.191 – 4.193 sunt prezentate imaginile corespunzătoare acestor temperaturi înregistrate cu termo-camera Cyclops Ti35+.

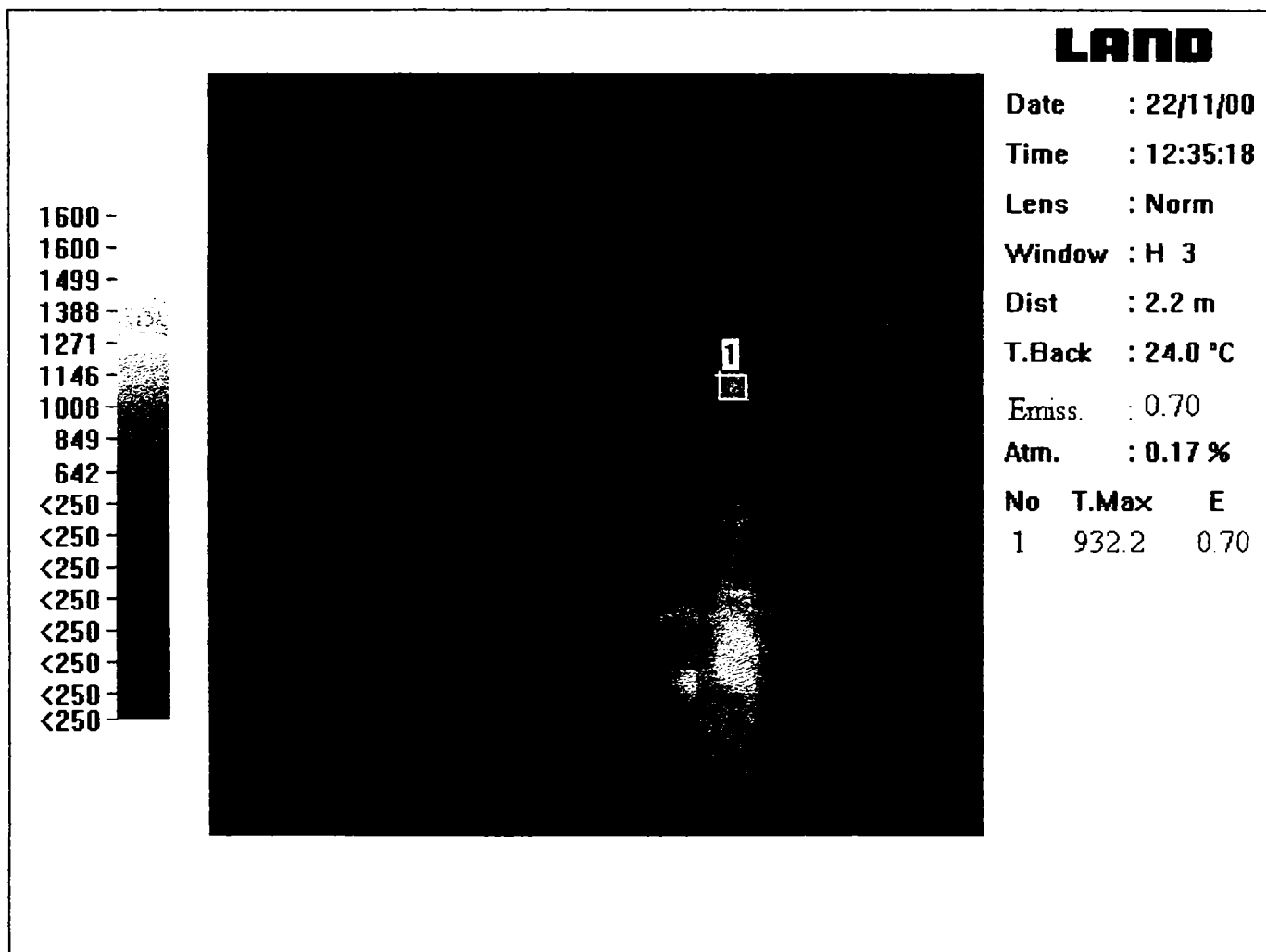


Figura 4.191. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC670 utilizând următorul regim de așchiere: $V_c=140\text{ m/min}$, $f_n=0,22\text{ mm/rot}$, $a_p=0,25\text{ mm}$

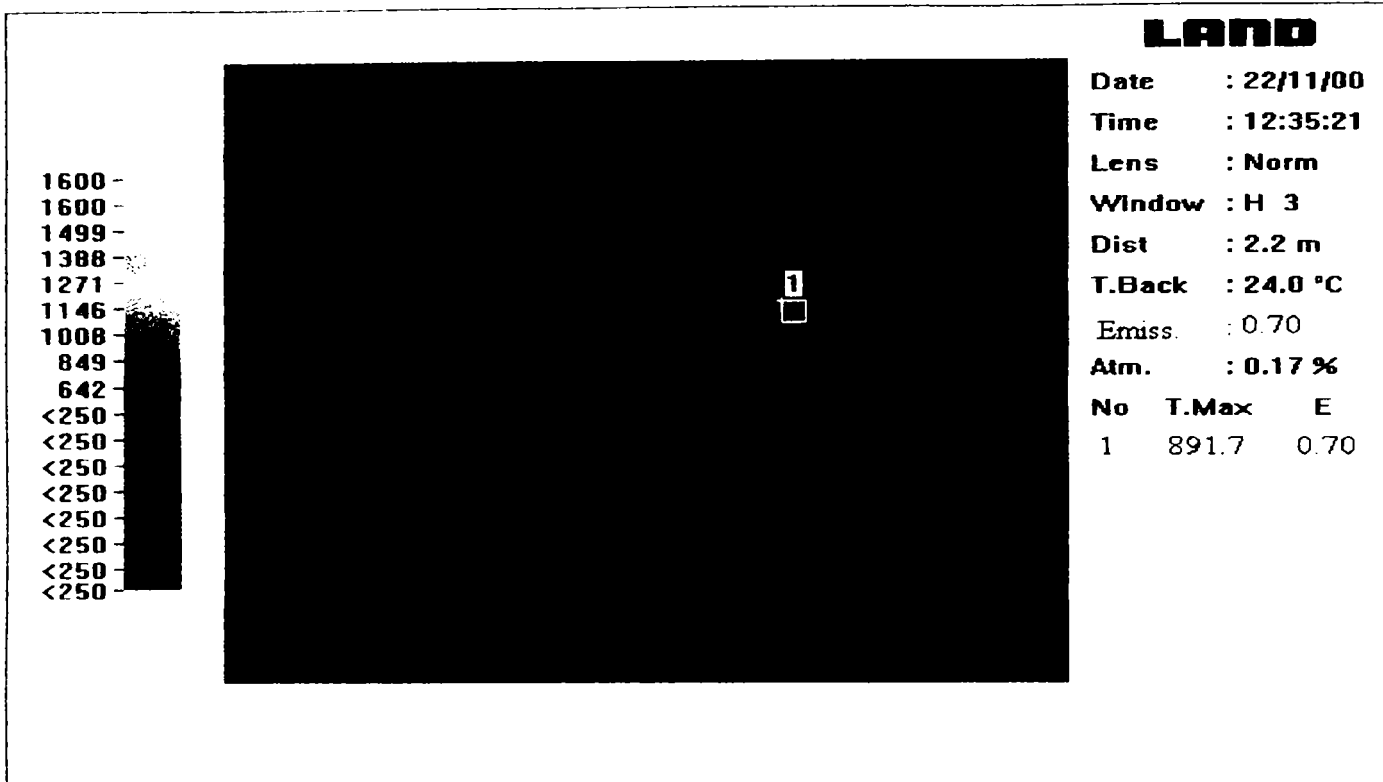


Figura 4.192. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC670 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

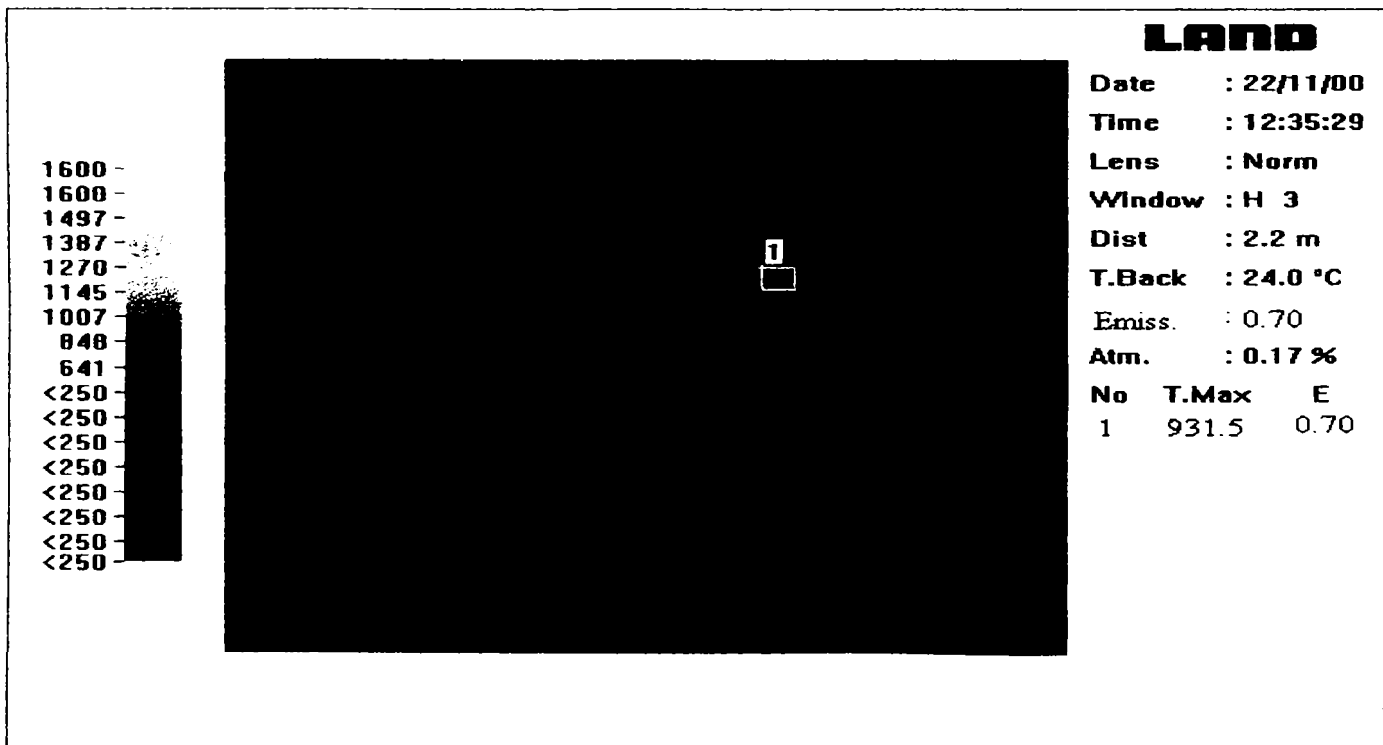


Figura 4.193. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC670 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Comparând rezultatele obținute se poate aprecia că variația vitezei de așchiere influențează temperatura într-o măsură mai mare decât variația avansului de așchiere în cazul strunjirii oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC670. Atunci când s-a crescut viteza de la 140 m/min la 180 m/min păstrând constant avansul și adâncimea de așchiere, temperatura a crescut de la $T_{med.}=619,6^{\circ}C$ la $T_{med.}=980,76^{\circ}C$, iar când avansul de așchiere a crescut de la 0,14 mm/rot la 0,22 mm/rot temperatura a crescut de la $T_{med.}=619,6^{\circ}C$ la $T_{med.}=918,46^{\circ}C$.

Cazul sculei CC650

În cazul utilizării regimului de așchiere $R1:Vc=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, s-au obținut următoarele valori pentru temperatură: $T_1=609,2^{\circ}C$, $T_2=658,2^{\circ}C$, $T_3=657,7^{\circ}C$. Temperatura medie rezultată a fost $T_{med.}=641,7^{\circ}C$.

În figurile 4.194 – 4.196 sunt prezentate înregistrările în infraroșu corespunzătoare acestor temperaturi.

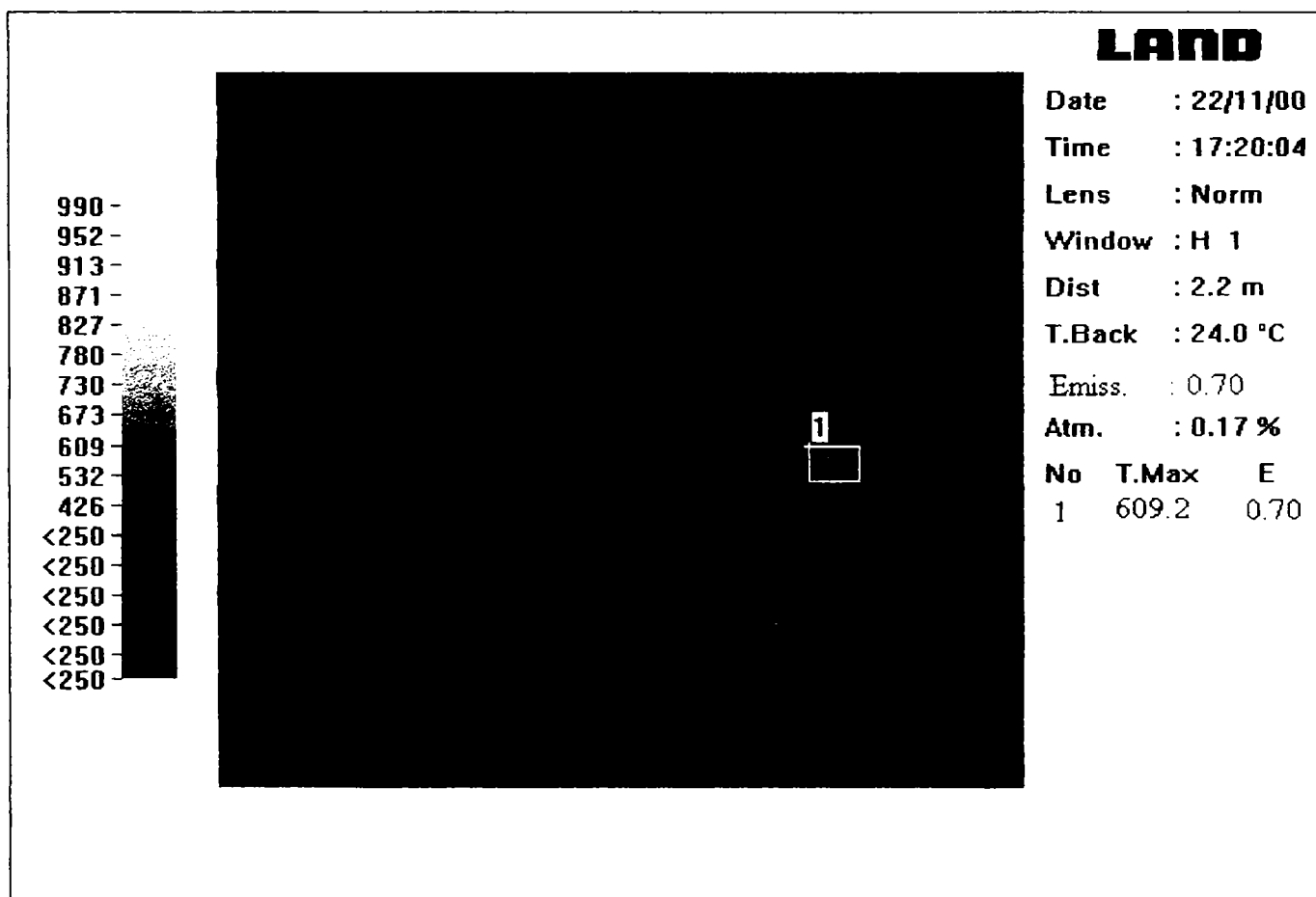


Figura 4.194. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la așchieria oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC650 utilizând următorul regim de așchiere: $Vc=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

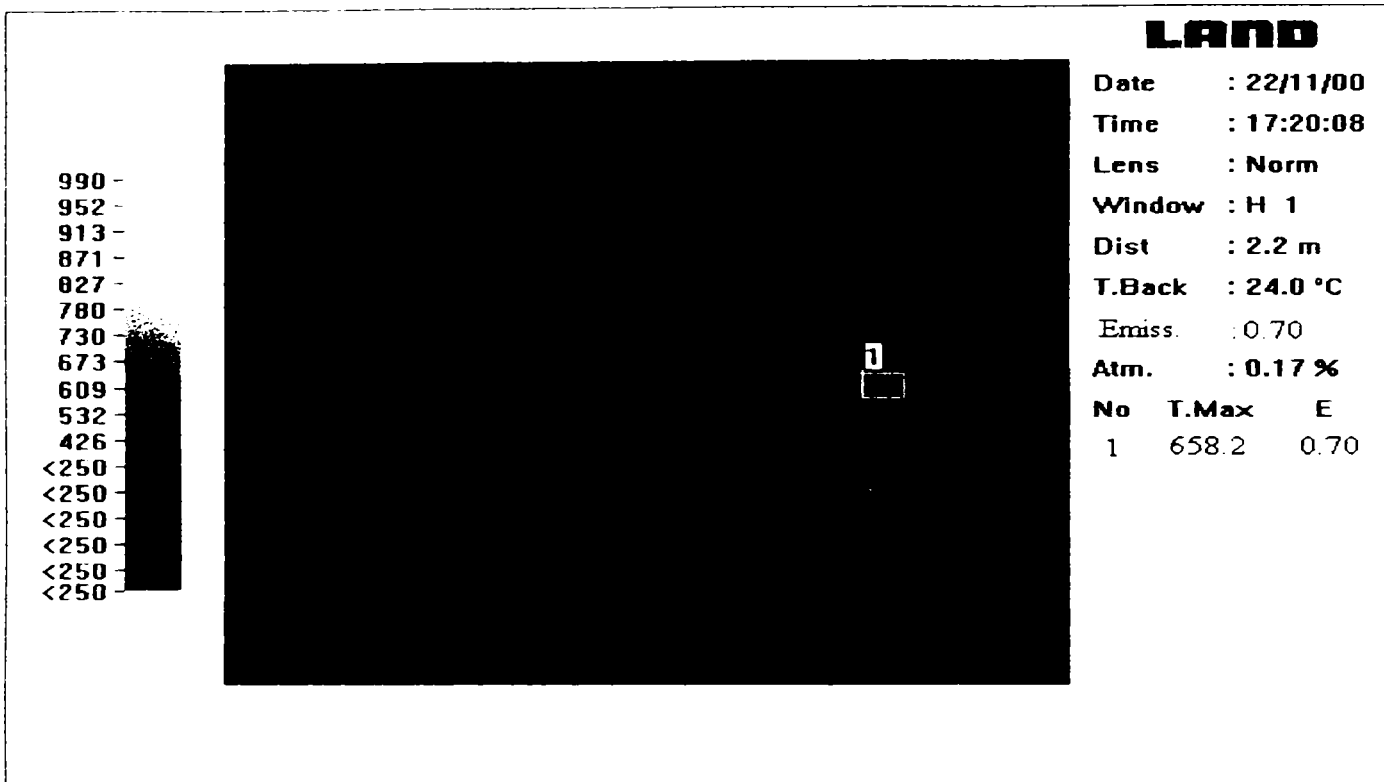


Figura 4.195. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC650 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

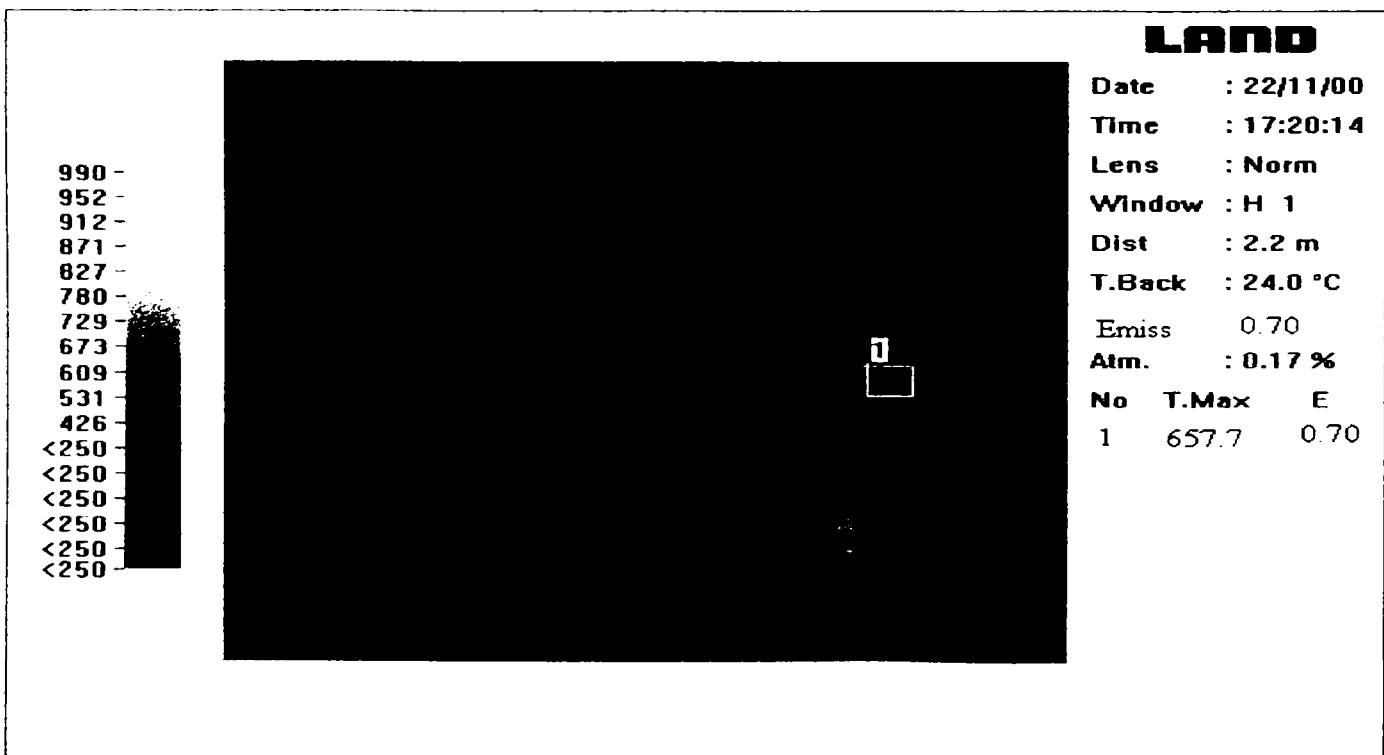


Figura 4.196. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC650 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Pentru cazul utilizării plăcuței CC650 cu regimul de aşchiere R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm s-au înregistrat următoarele temperaturi în zona de contact sculă-piesă: $T_1=1019^{\circ}\text{C}$, $T_2=1010^{\circ}\text{C}$, $T_3=1014^{\circ}\text{C}$. Temperatura medie calculată a fost: $T_{med}=1014,33^{\circ}\text{C}$. În figurile 4.197 – 4.199 pot fi vizualizate aceste valori ale temperaturilor înregistrate cu termo-camera cu infraroşii Cyclops Ti 35+.

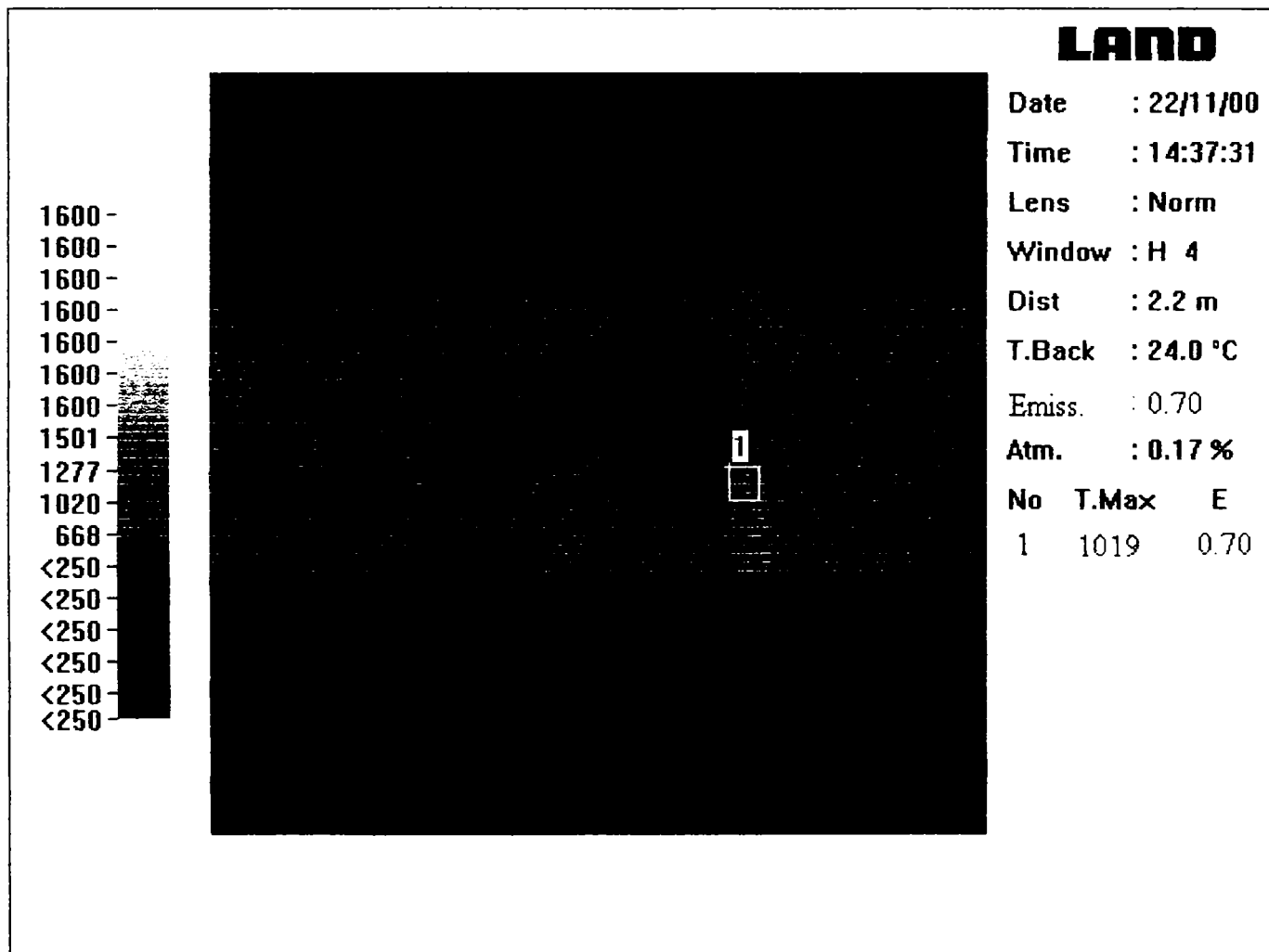


Figura 4.197. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC650 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

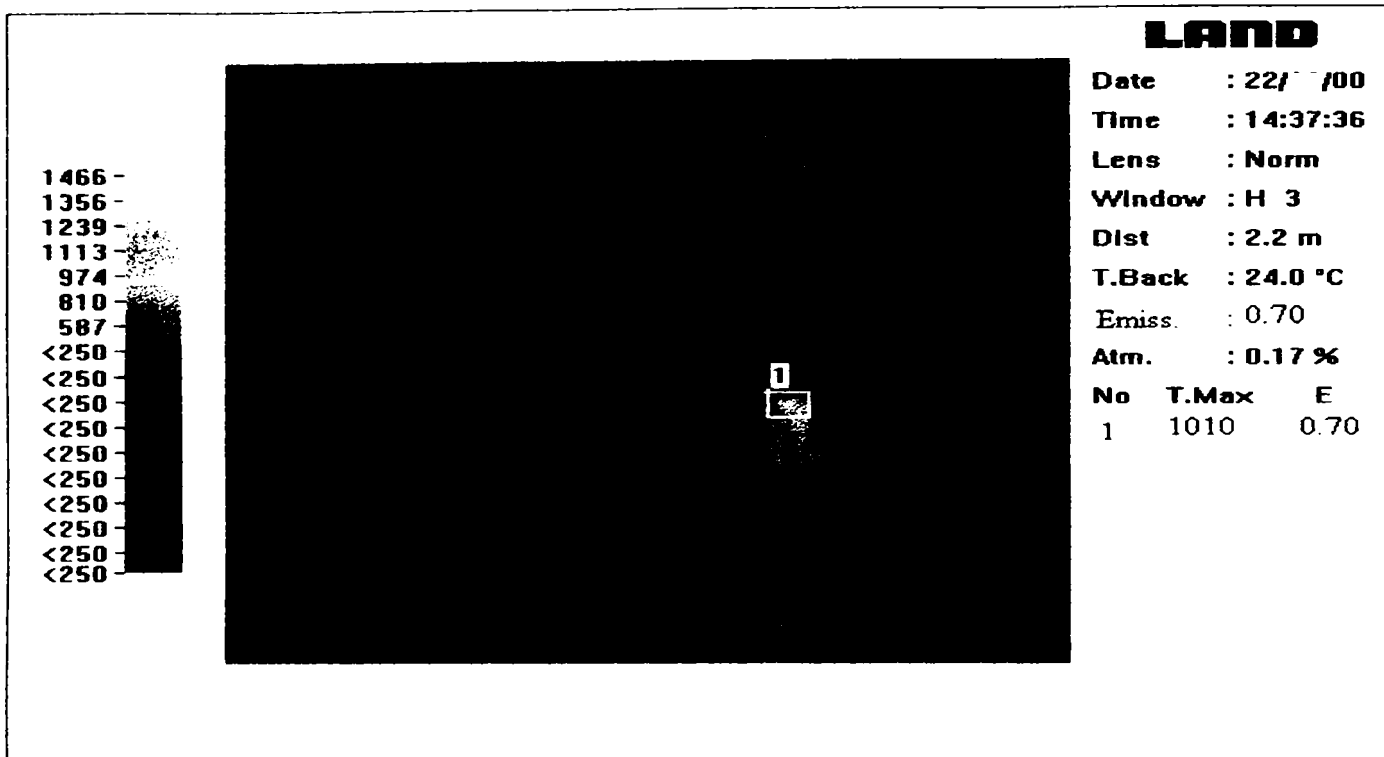


Figura 4.198. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC650 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

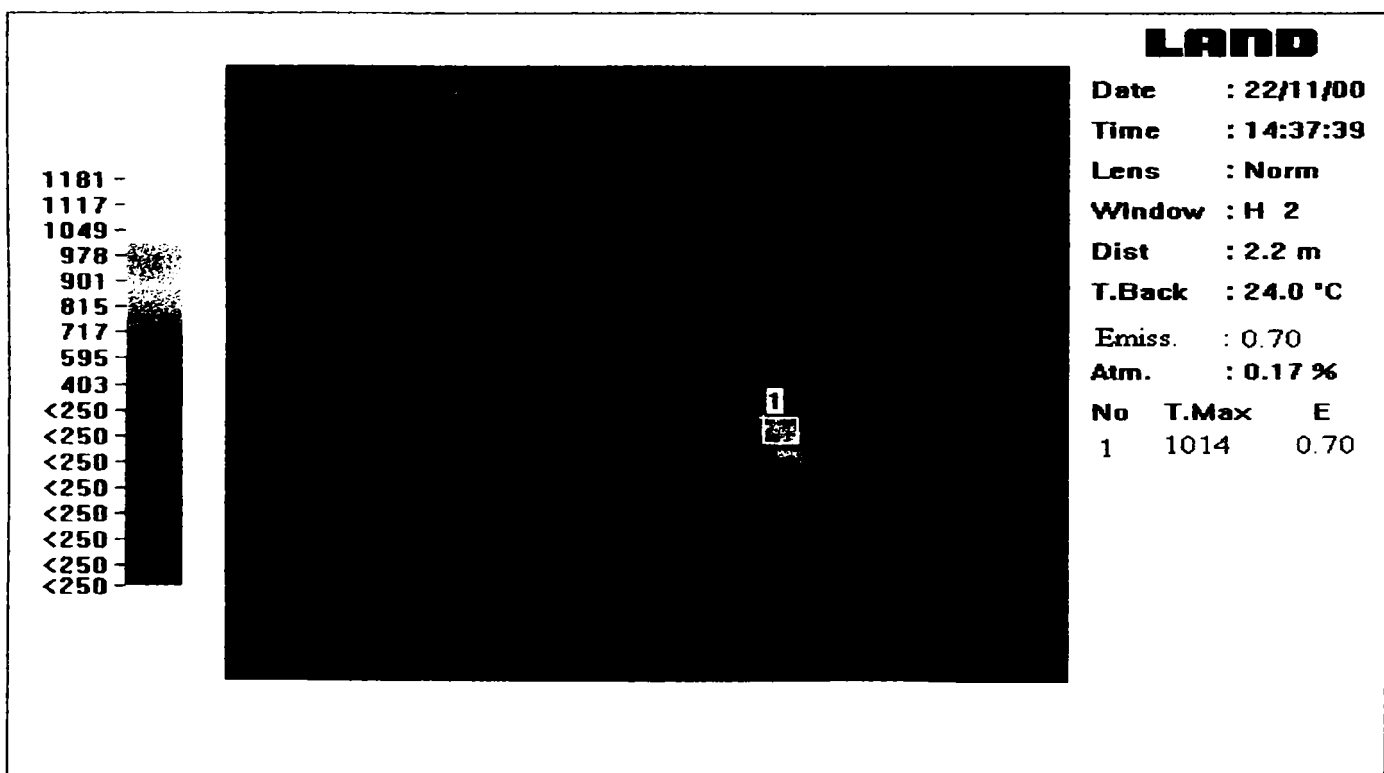


Figura 4.199. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC650 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Pentru regimul de aşchiere R2: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm la strunjirea oțelului 100Cr6 cu plăcuța CC650 s-au înregistrat următoarele valori nale temperaturii: $T_1=748,9^{\circ}\text{C}$, $T_2=722,6^{\circ}\text{C}$, $T_3=723,2^{\circ}\text{C}$. Temperatura medie rezultată în acest caz a fost: $T_{med.}=731,56^{\circ}\text{C}$. Aceste valori pot fi observate în figurile 4.200 – 4.202 care reprezintă fotografiile în infraroșu realizate cu termo-camera Cyclops Ti 35+.

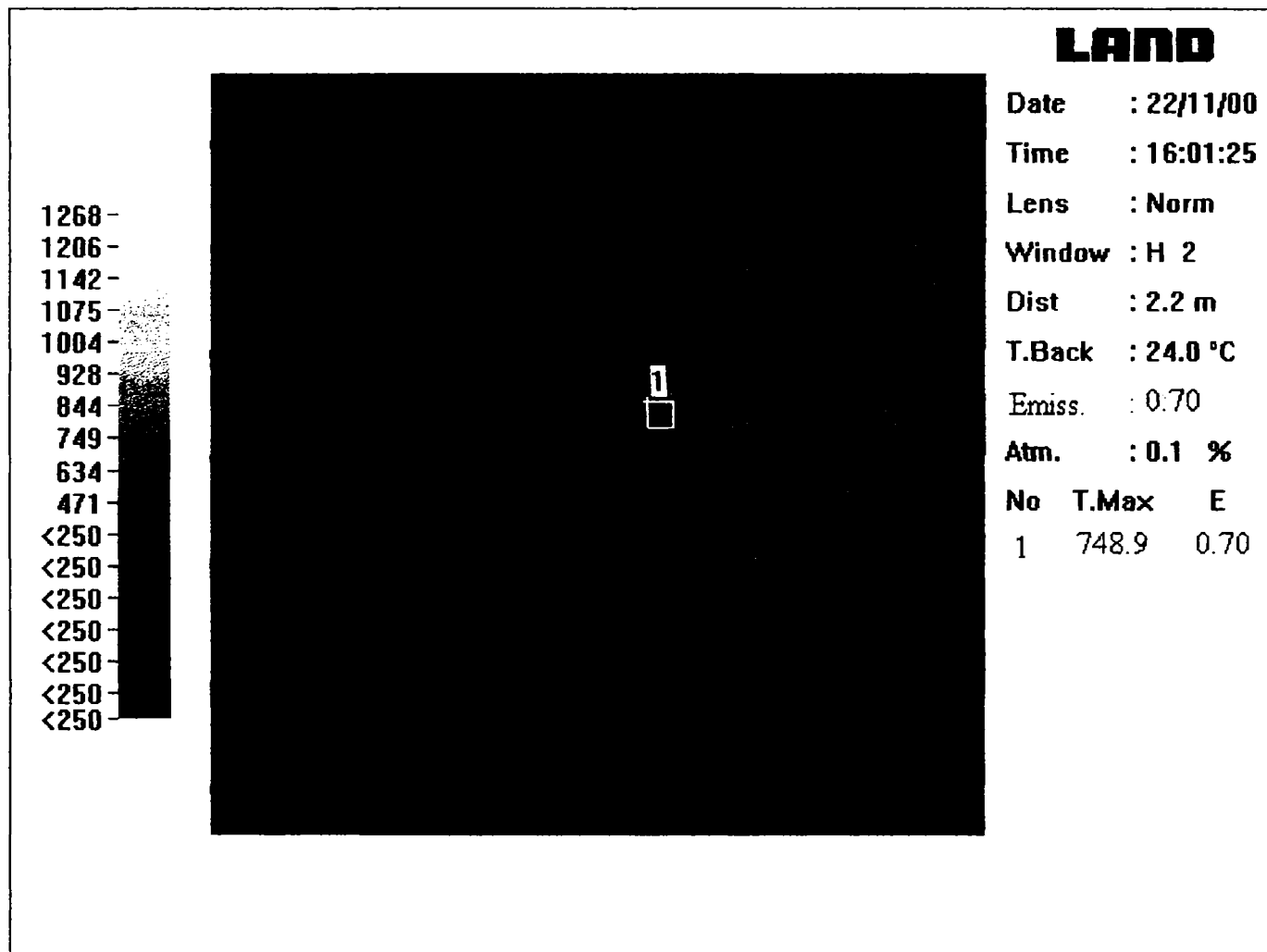


Figura 4.200. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC650 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

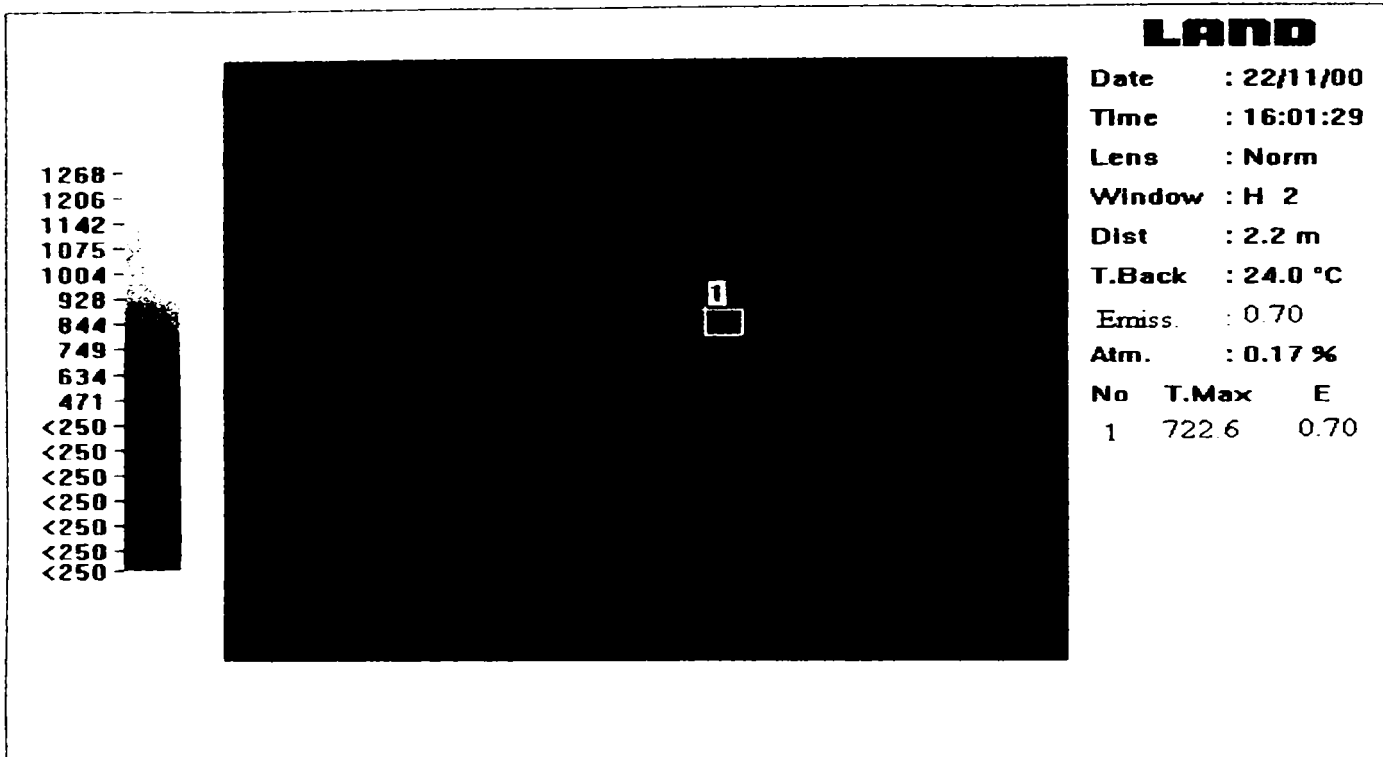


Figura 4.201. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC650 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

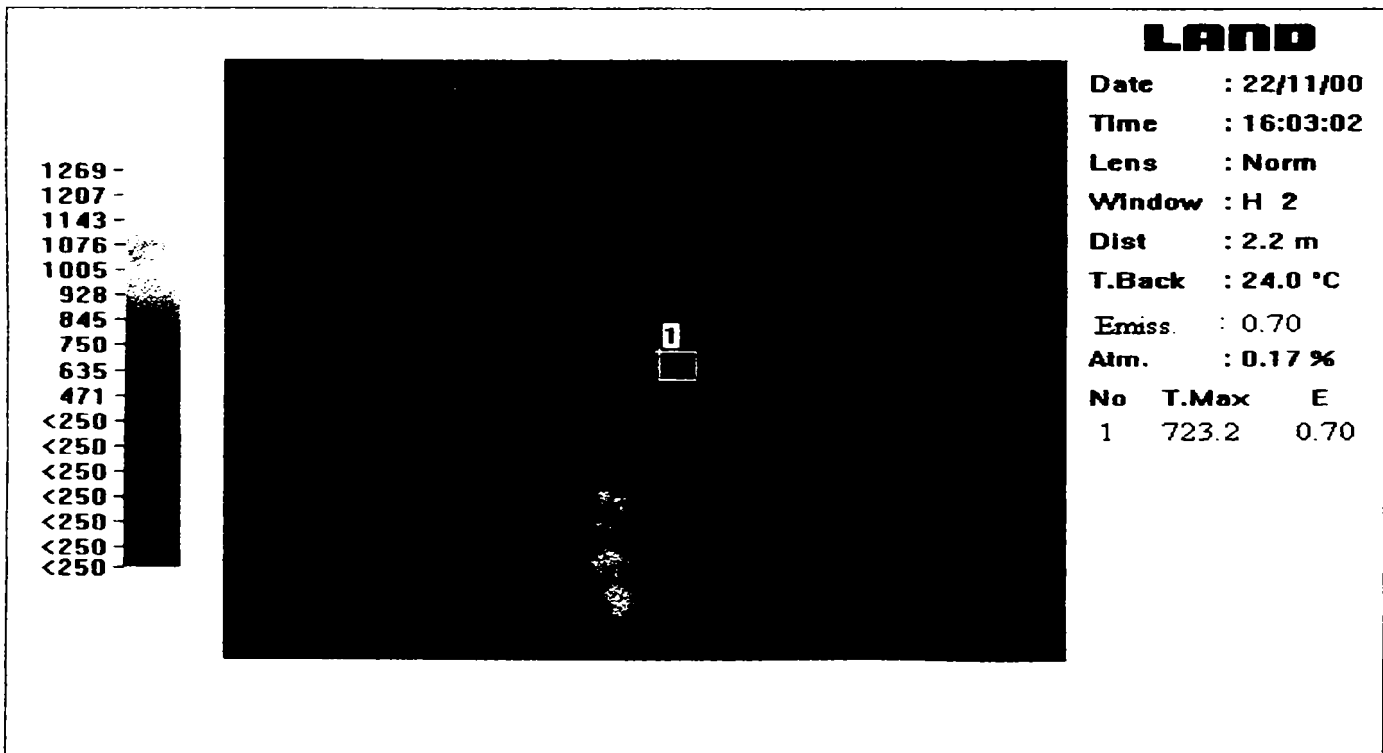


Figura 4.202. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CC650 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Comparând figurile 4.194 – 4.196 cu figurile 4.197 – 4.199 se vede că o creștere a vitezei de așchiere de la 140 m/min la 180 m/min păstrând constant avansul și adâncimea de așchiere la strunjirea cu plăcuța CC650 duce la o creștere a temperaturii de la $T_{med.}=641,7^{\circ}C$ la $T_{med.}=1014^{\circ}C$. Analizând figurile 4.194 – 4.196 comparativ cu figurile 4.200 – 4.202 se observă că o variație a avansului de așchiere de la 0,14 mm/rot la 0,22 mm/rot face ca temperatura să crească de la $T_{med.}=641,7^{\circ}C$ la $T_{med.}=731,56^{\circ}C$. Din cele prezentate mai sus se poate concluziona că și în cazul plăcuțelor ceramice CC650 factorul viteză de așchiere influențează mai mult temperatura în zona de așchiere decât avansul de așchiere.

Cazul sculei CB7020

În situația utilizării regimului de așchiere: R1: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm s-au înregistrat următoarele temperaturi: $T_1=368,9^{\circ}C$, $T_2=354,6^{\circ}C$, $T_3=354,6^{\circ}C$. În acest caz temperatura medie a fost: $T_{med.}=359,3^{\circ}C$. În figurile 4.203 – 4.205 sunt redată fotografiile în infraroșu corespunzătoare temperaturilor menționate anterior, în cazul așchierii oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, utilizând o sculă din nitrură cubică de bor policristalină, CB7020.

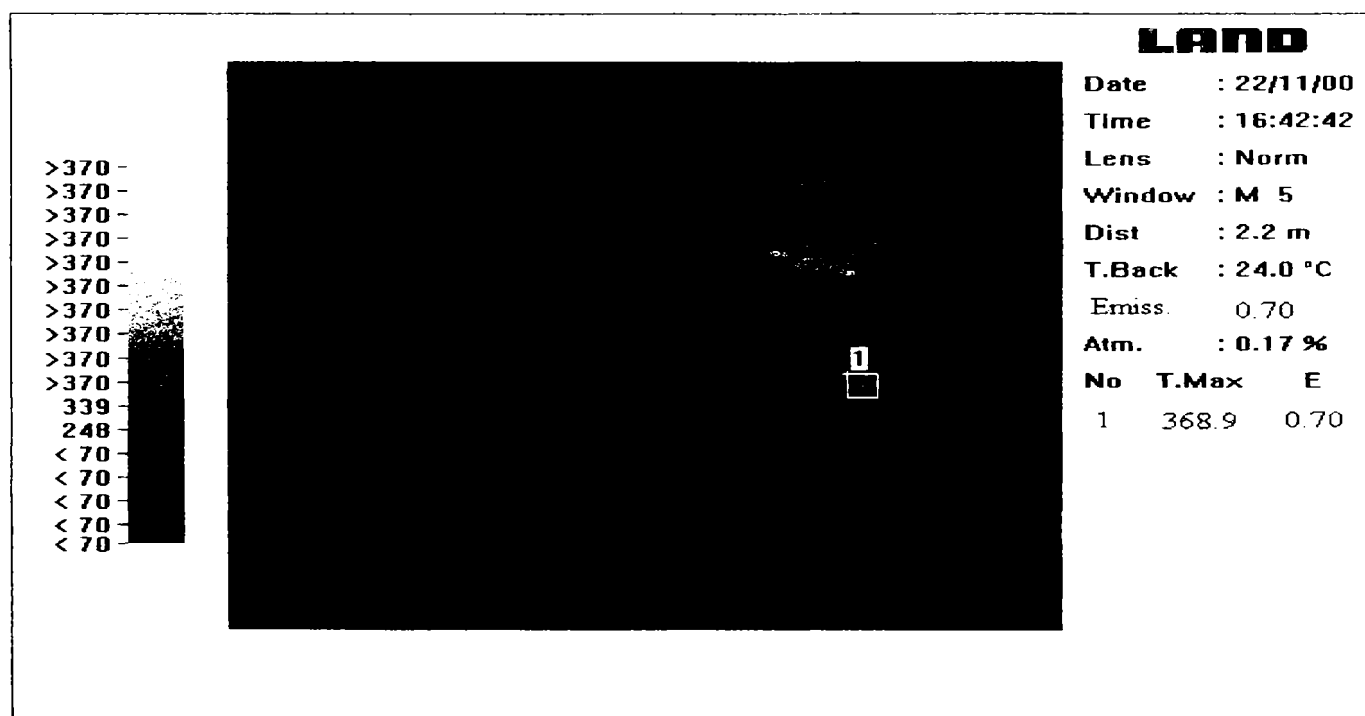


Figura 4.203. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la așchieria oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CB7020 utilizând următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

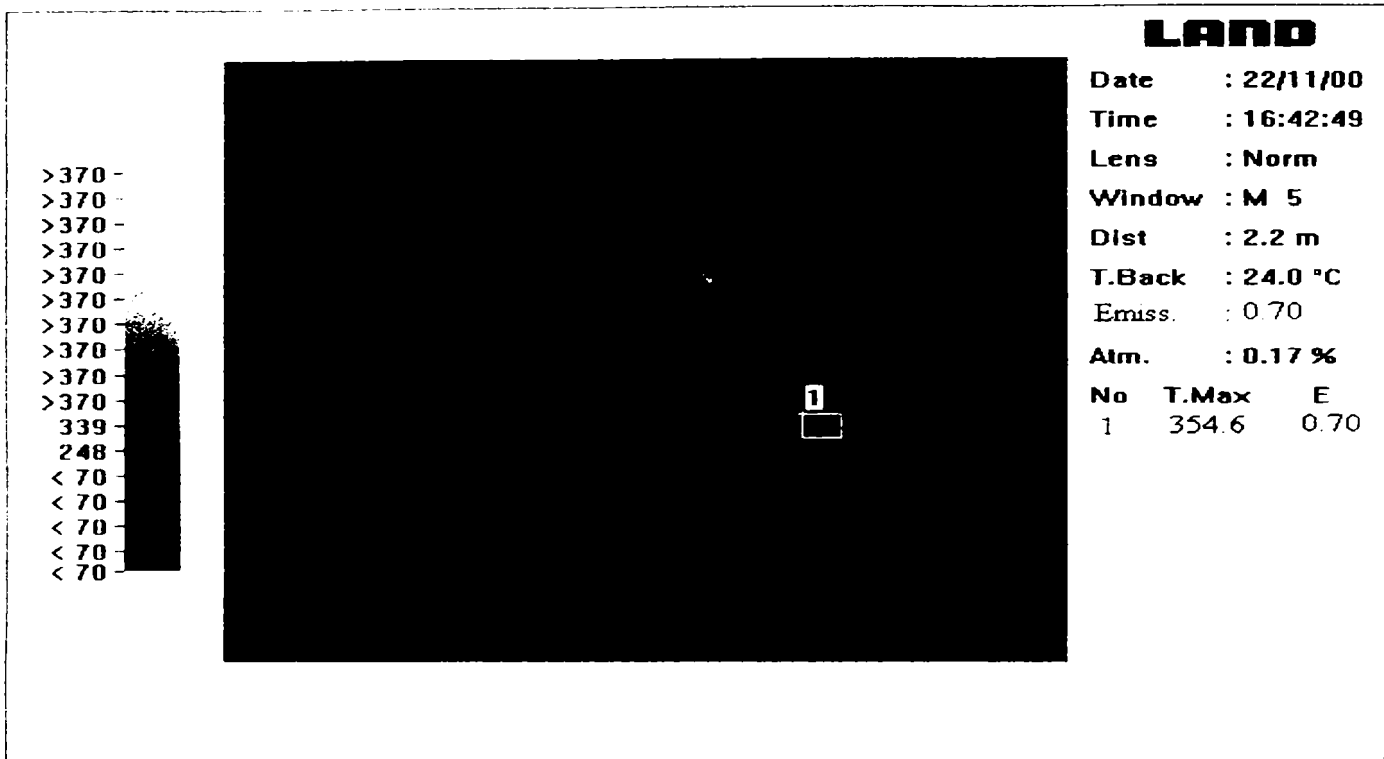


Figura 4.204. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CB7020 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

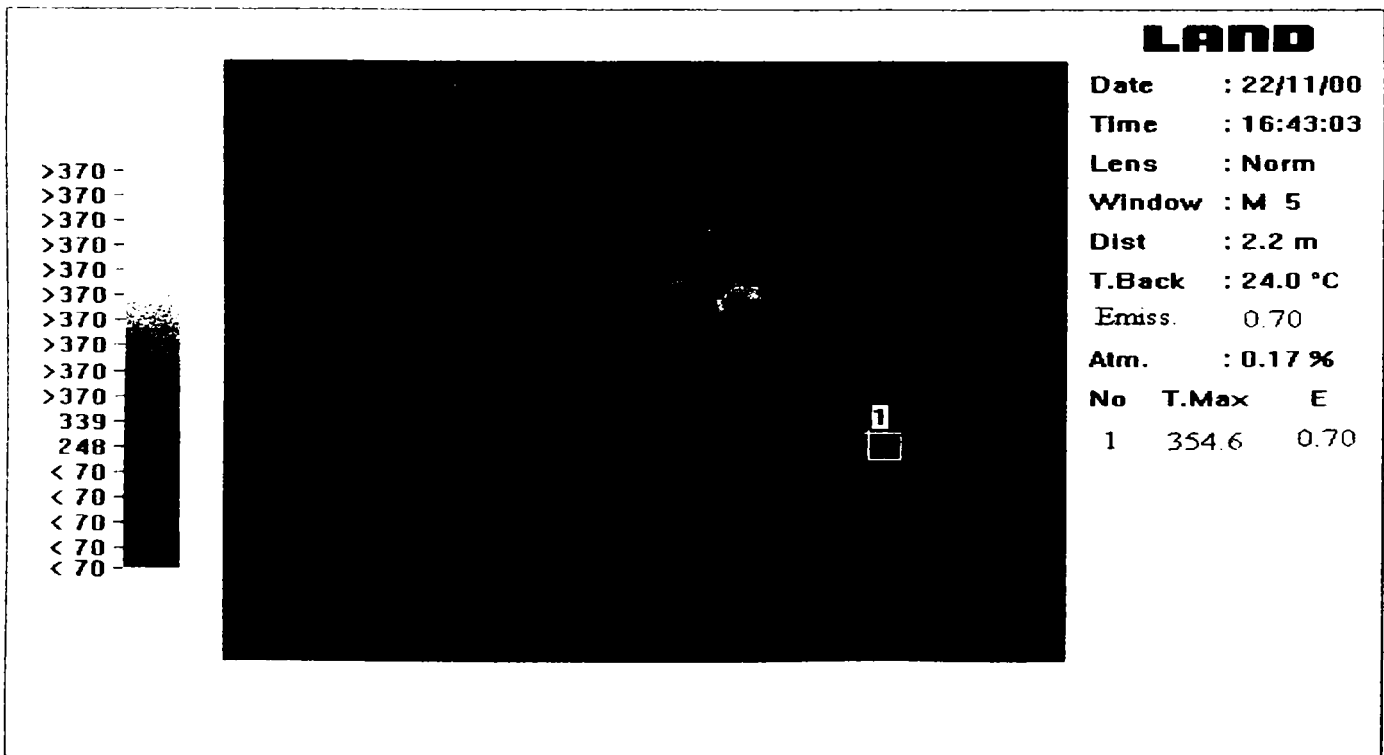


Figura 4.205. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CB7020 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Folosind același tip de plăcuță așchietoare dar un alt regim de așchiere: R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, s-au obținut următoarele valori pentru temperatura din zona de așchiere: $T_1=633,1^{\circ}\text{C}$, $T_2=664,1^{\circ}\text{C}$, $T_3=624,4^{\circ}\text{C}$. Temperatura medie calculată ca medie aritmetică a celor trei temperaturi a fost: $T_{med.}=640,5^{\circ}\text{C}$.

În figurile 4.206 – 4.208 sunt prezentate imaginile în infraroșu corespunzătoare temperaturilor înregistrate la așchieria oțelului 100Cr6, 60-62 HRC cu scula CB7020.

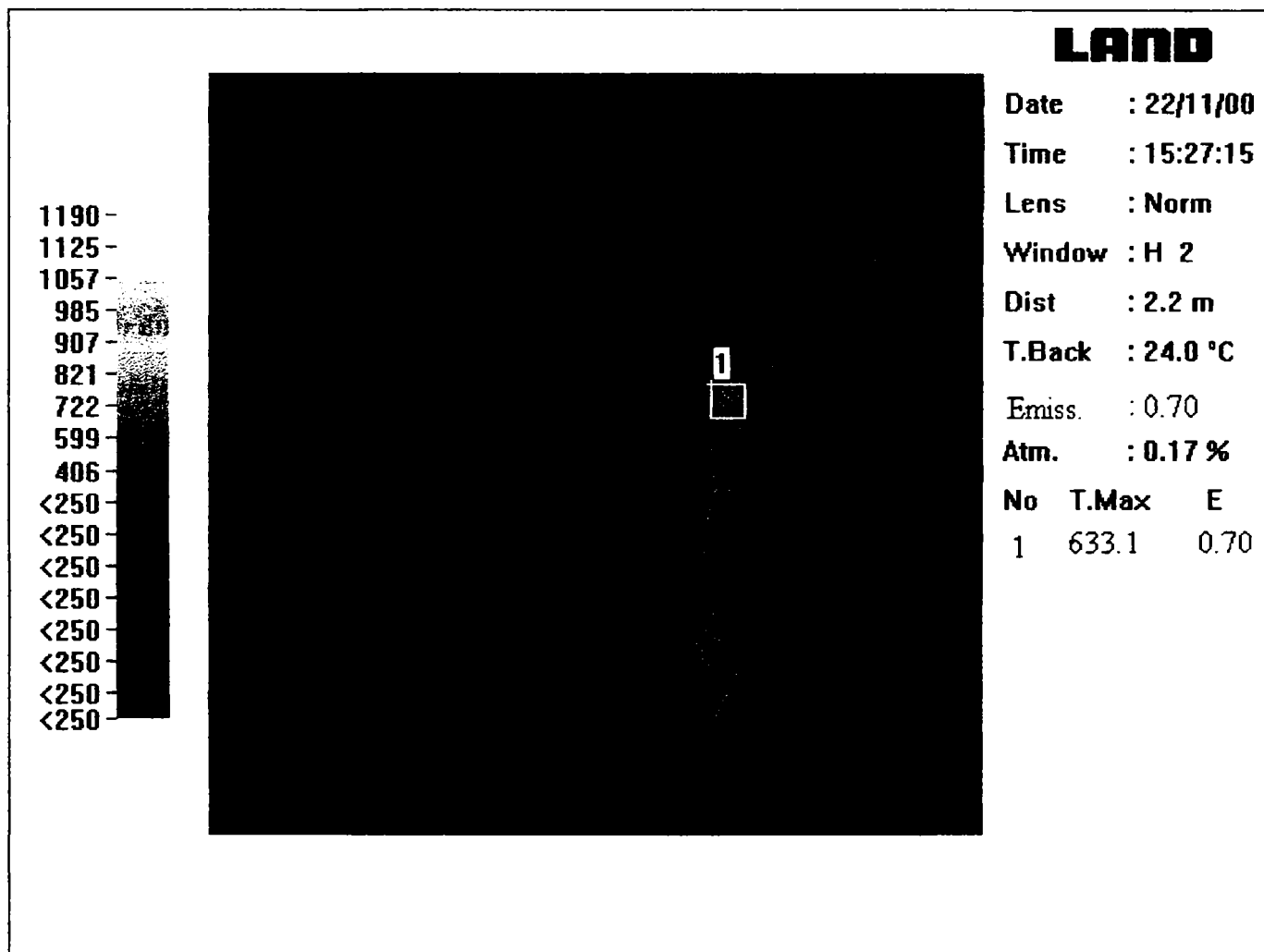


Figura 4.206. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la așchieria oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CB7020 utilizând următorul regim de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

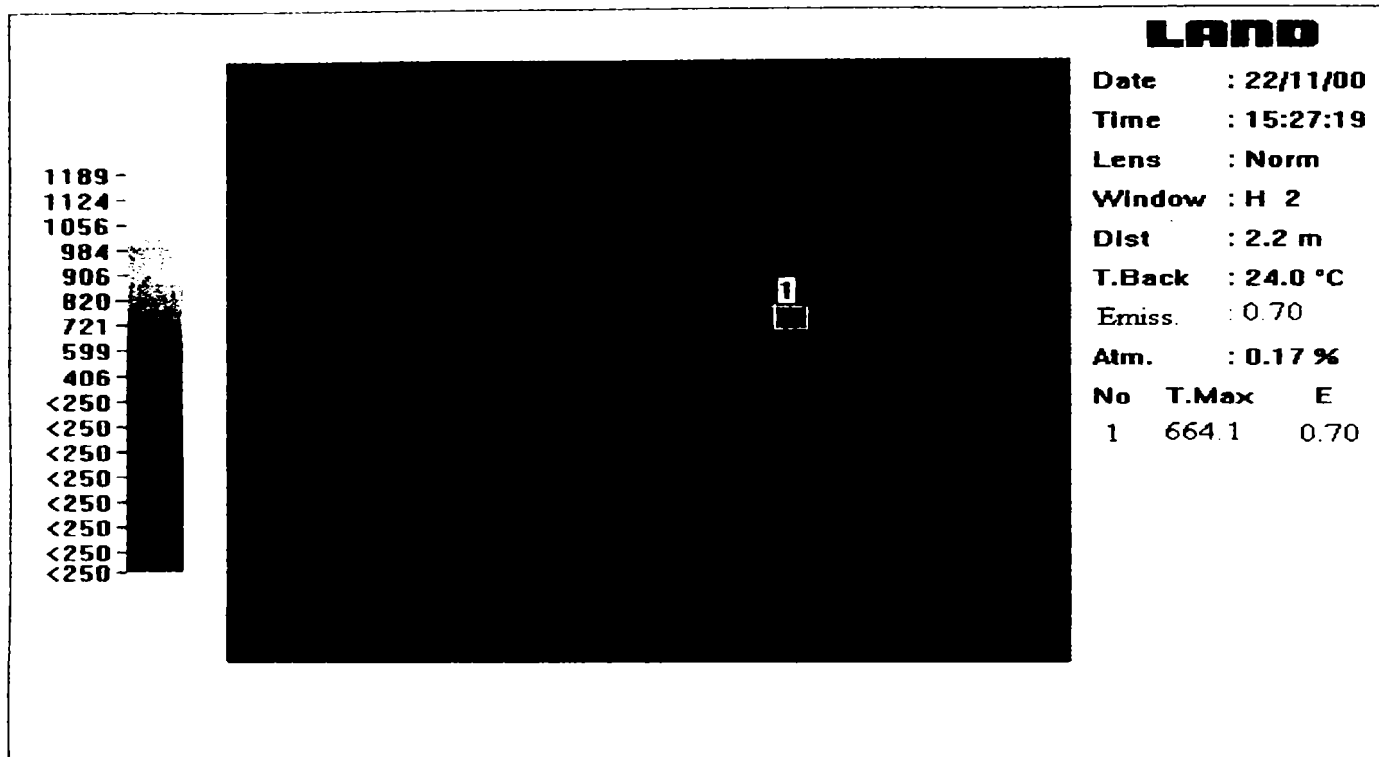


Figura 4.207. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CB7020 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

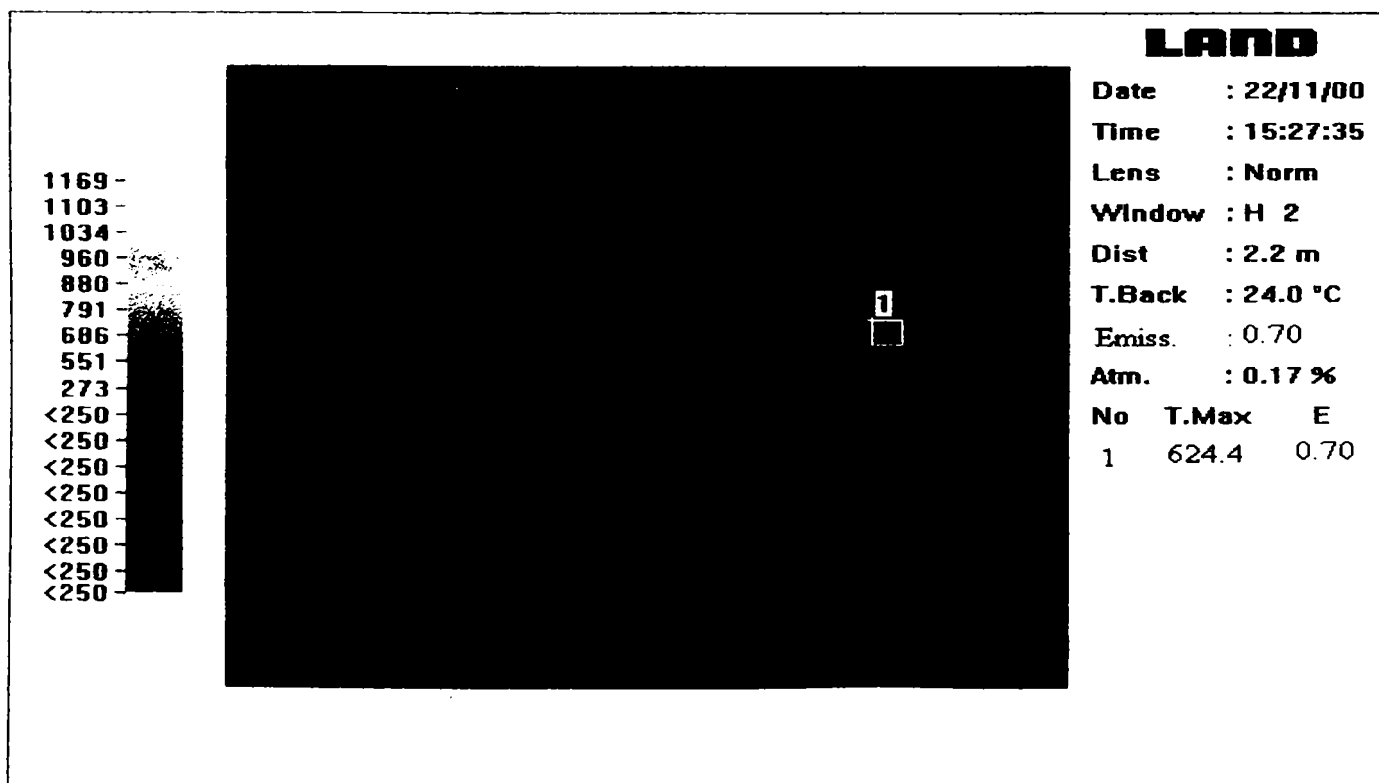


Figura 4.208. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CB7020 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Folosind regimul de aşchiere R2: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm cu scula CB7020 s-au obținut următoarele valori ale temperaturii în zona de aşchiere: $T_1=616^{\circ}\text{C}$, $T_2=580,4^{\circ}\text{C}$, $T_3=580,4^{\circ}\text{C}$. Temperatura medie a fost: $T_{med.}=592,26^{\circ}\text{C}$.

În figurile 4.209 – 4.211 sunt prezentate imaginile cu temperaturile înregistrate în cazul strunjirii cu regimul de aşchiere R2: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, cu scula CB7020.

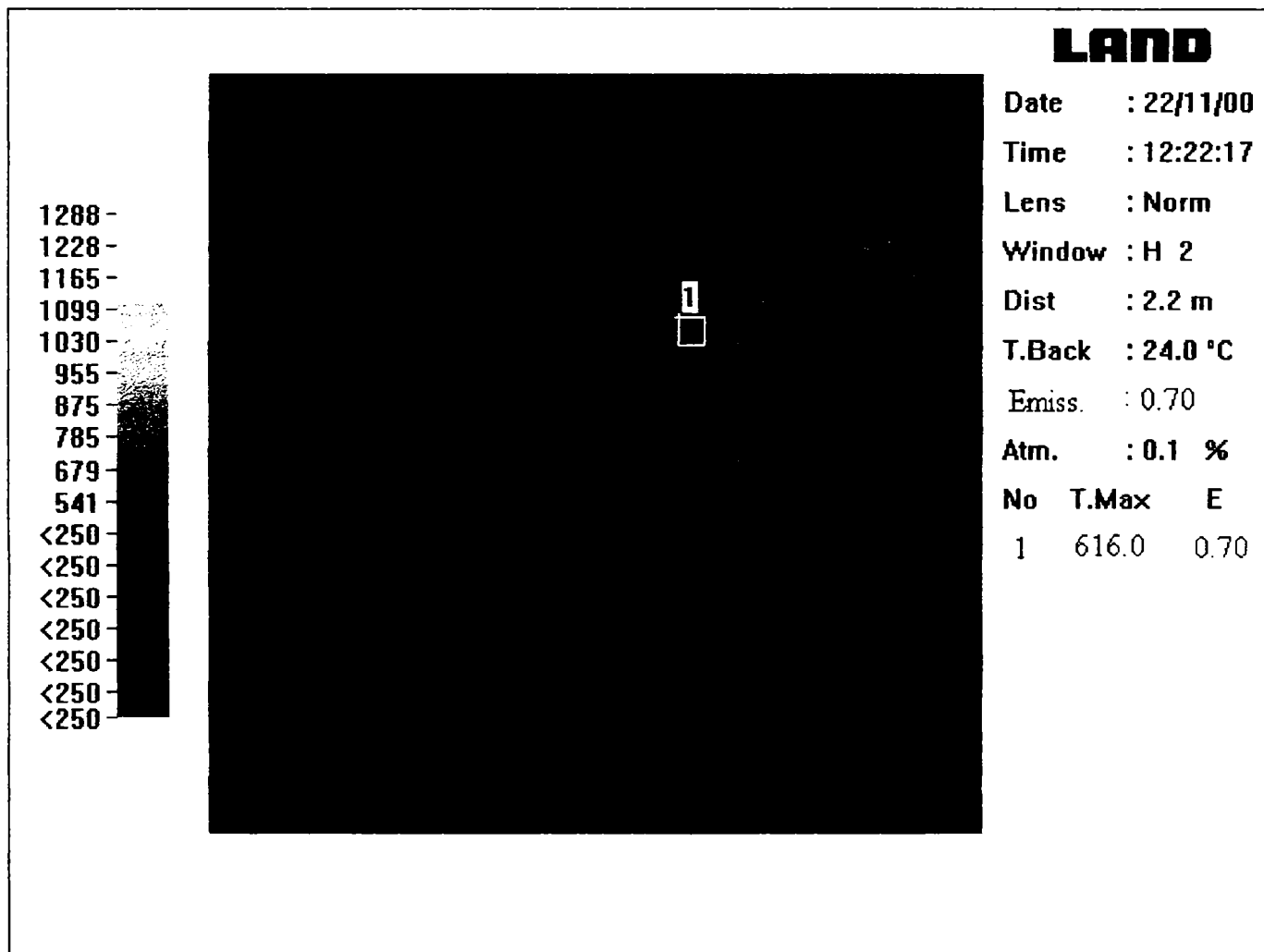


Figura 4.209. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CB7020 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

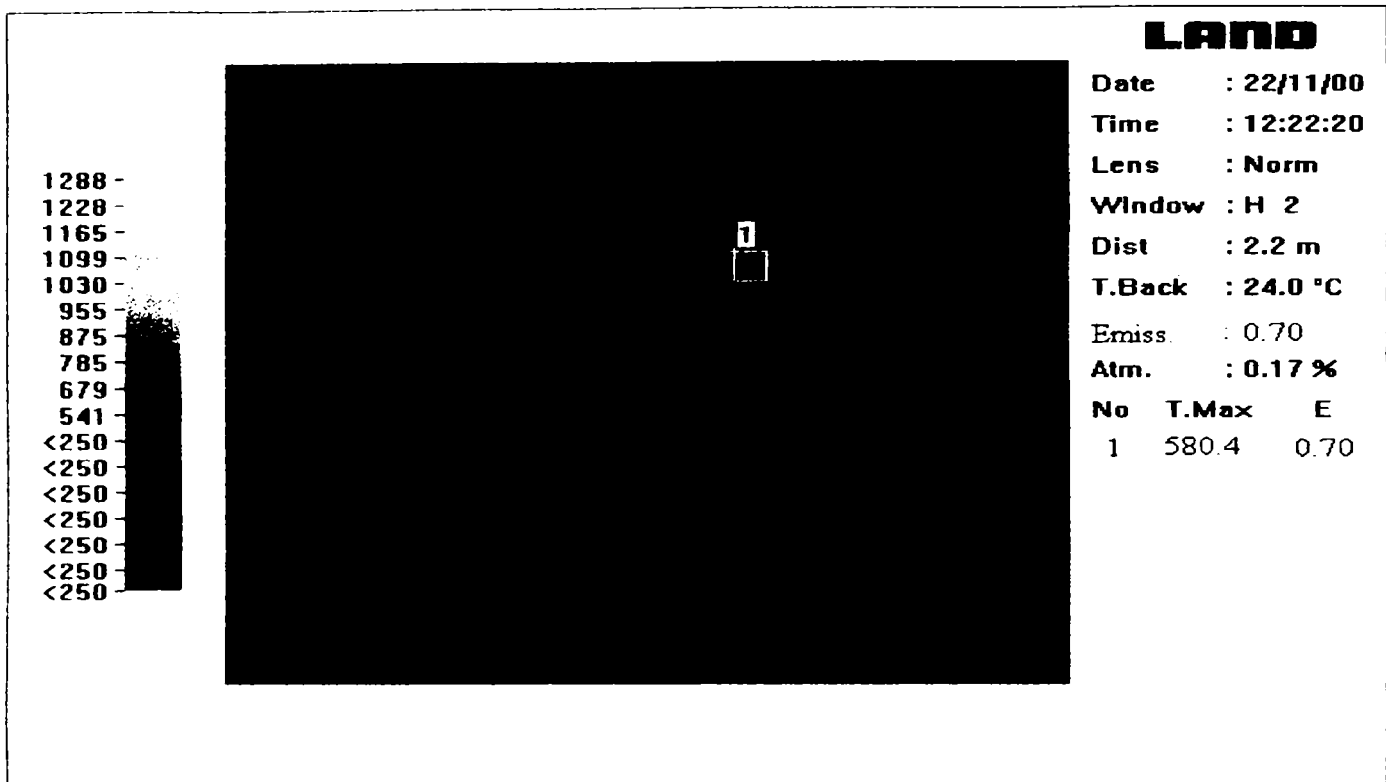


Figura 4.210. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CB7020 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

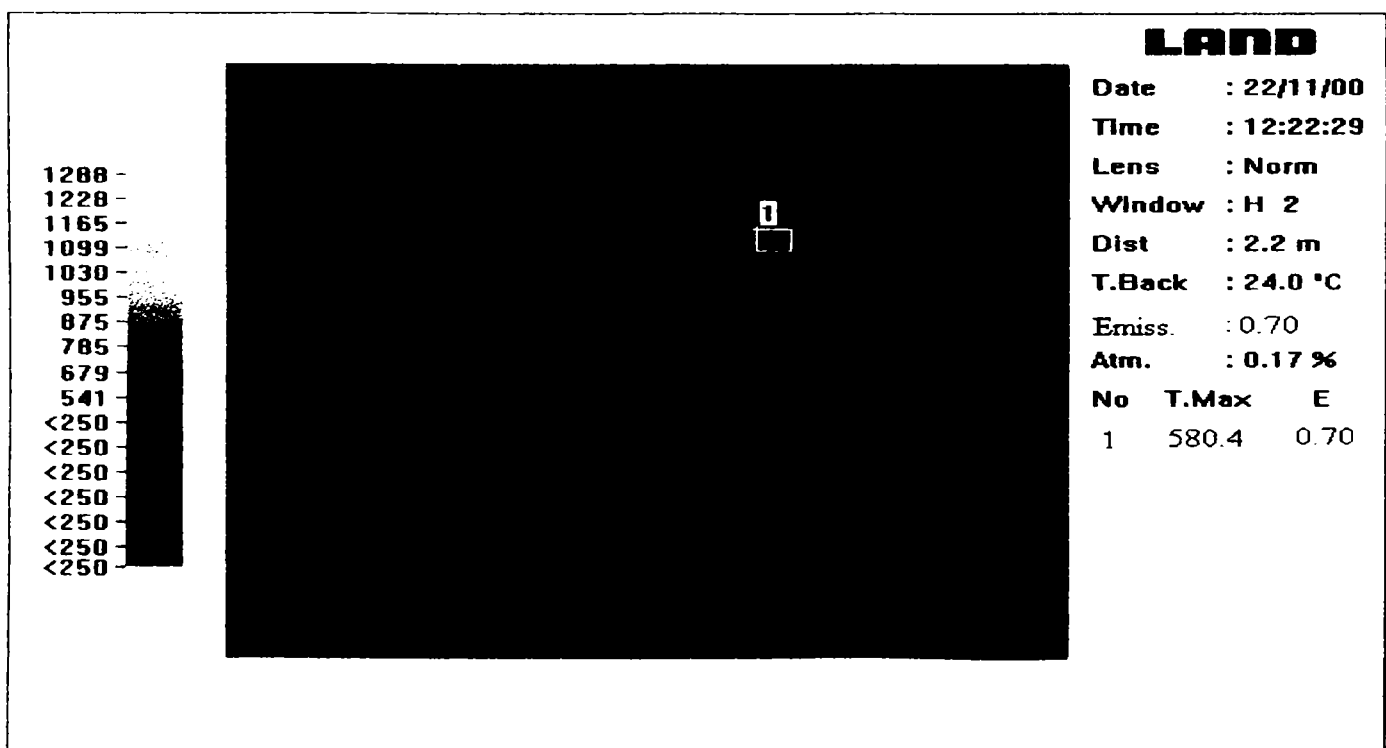


Figura 4.211. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța CB7020 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Este evident că și în cazul acestei scule creșterea vitezei de așchiere de la 140 la 180 m/min duce la o creștere a temperaturii în zona de contact sculă-piesă de la $T_{med}=359,3^{\circ}C$ la $T_{med}=640,5^{\circ}C$ (figurile 4.203 – 4.205 și 4.206 – 4.208), iar o creștere a avansului de la 0,14mm/rot la 0,22 mm/rot duce la o modificare a temperaturii de la $T_{med}=359,3^{\circ}C$ la $T_{med}=592,26^{\circ}C$ (figurile 4.203 – 4.205 și 4.209 – 4.211).

Datele prezentate mai sus confirmă faptul că și în cazul sculei CB7020 influența vitezei de așchiere asupra temperaturii este mai importantă decât influența avansului de așchiere asupra temperaturii în zona de așchiere, la strunjirea oțelului 100 Cr6 cu duritatea 60-62 HRC.

Cazul sculei DBN45

Pentru această sculă s-au utilizat aceleași regimuri de așchierela fel ca și pentru celelalte scule așchietoare. În cazul folosirii regimului R1: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, s-au înregistrat următoarele temperaturi: $T_1=635,4^{\circ}C$, $T_2=635,4^{\circ}C$, $T_3=635,4^{\circ}C$. Temperatura medie în acest caz a fost $T_{med}=635,4^{\circ}C$. În figurile 4.212 – 4.214 sunt prezentate imaginile în infraroșu corespunzătoare temperaturilor prezentate mai sus.



Figura 4.212. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la așchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBN45 utilizând următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

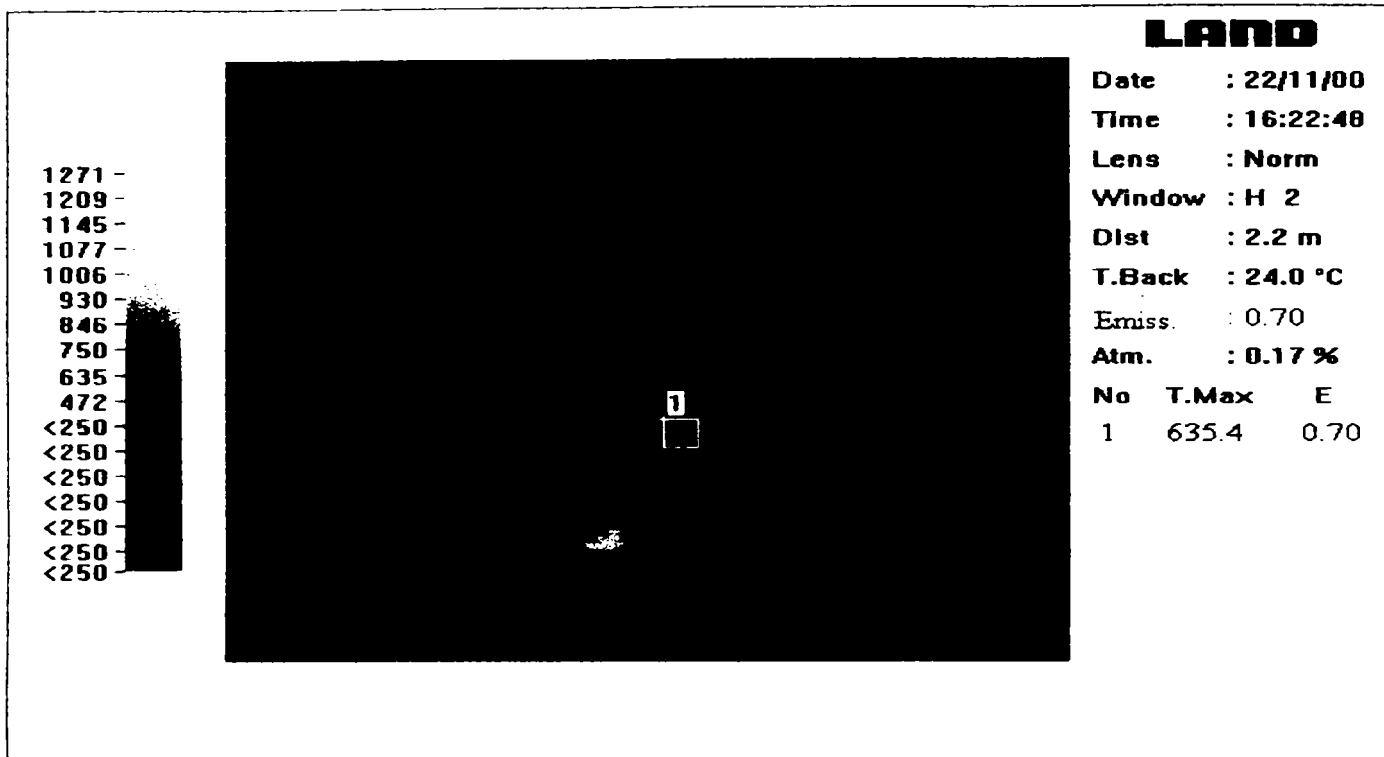


Figura 4.213. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBN45 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

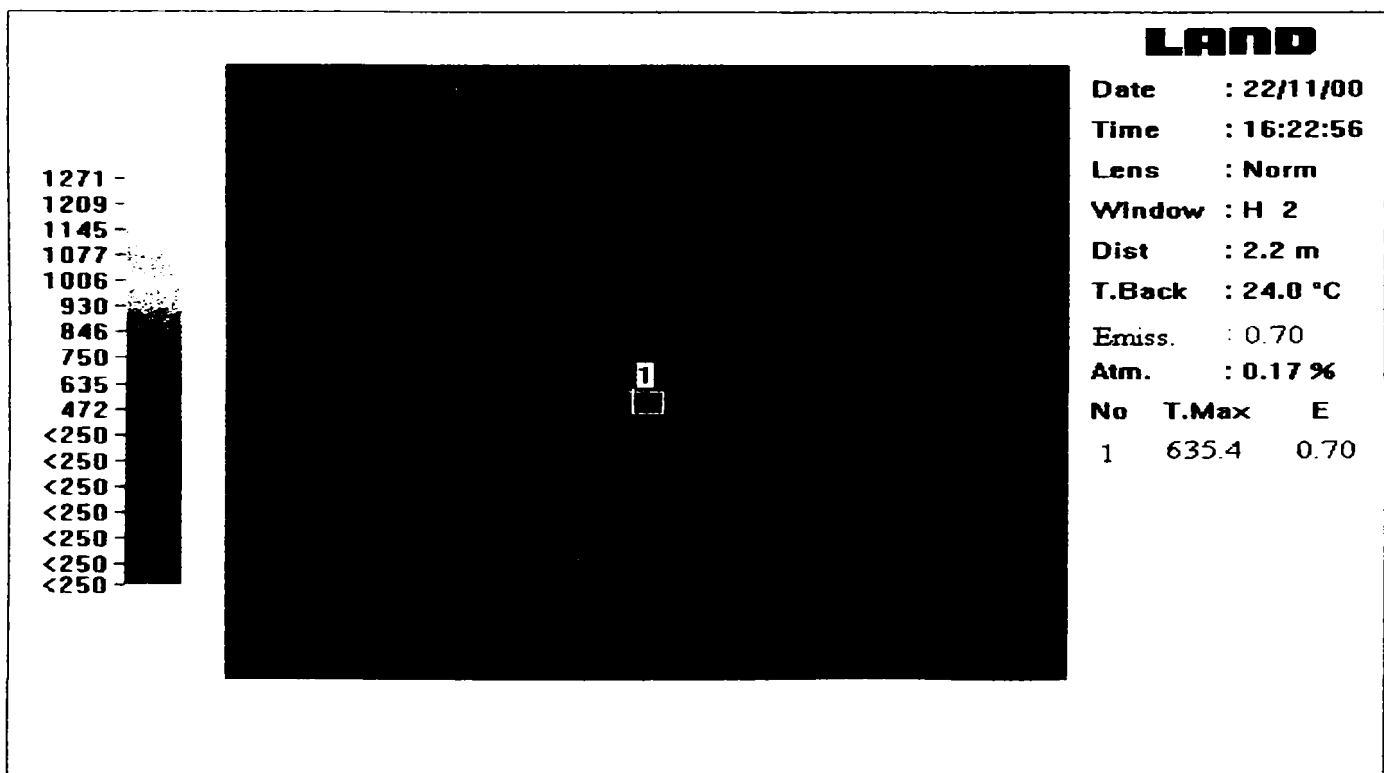


Figura 4.214. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBN45 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

În cazul strunjirii cu cel de-al doilea regim de aşchiere R2: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, s-au obținut următoarele temperaturi în zona de aşchiere: $T_1=721,2^{\circ}\text{C}$, $T_2=771,9^{\circ}\text{C}$, $T_3=771,9^{\circ}\text{C}$. Prin urmare temperatura medie a fost $T_{med.}=755^{\circ}\text{C}$. În figurile 4.215 – 4.217 sunt prezentate temperaturile înregistrate cu ajutorul termo-camerei Cyclops Ti 35+ la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, folosind regimul de aşchiere R2.

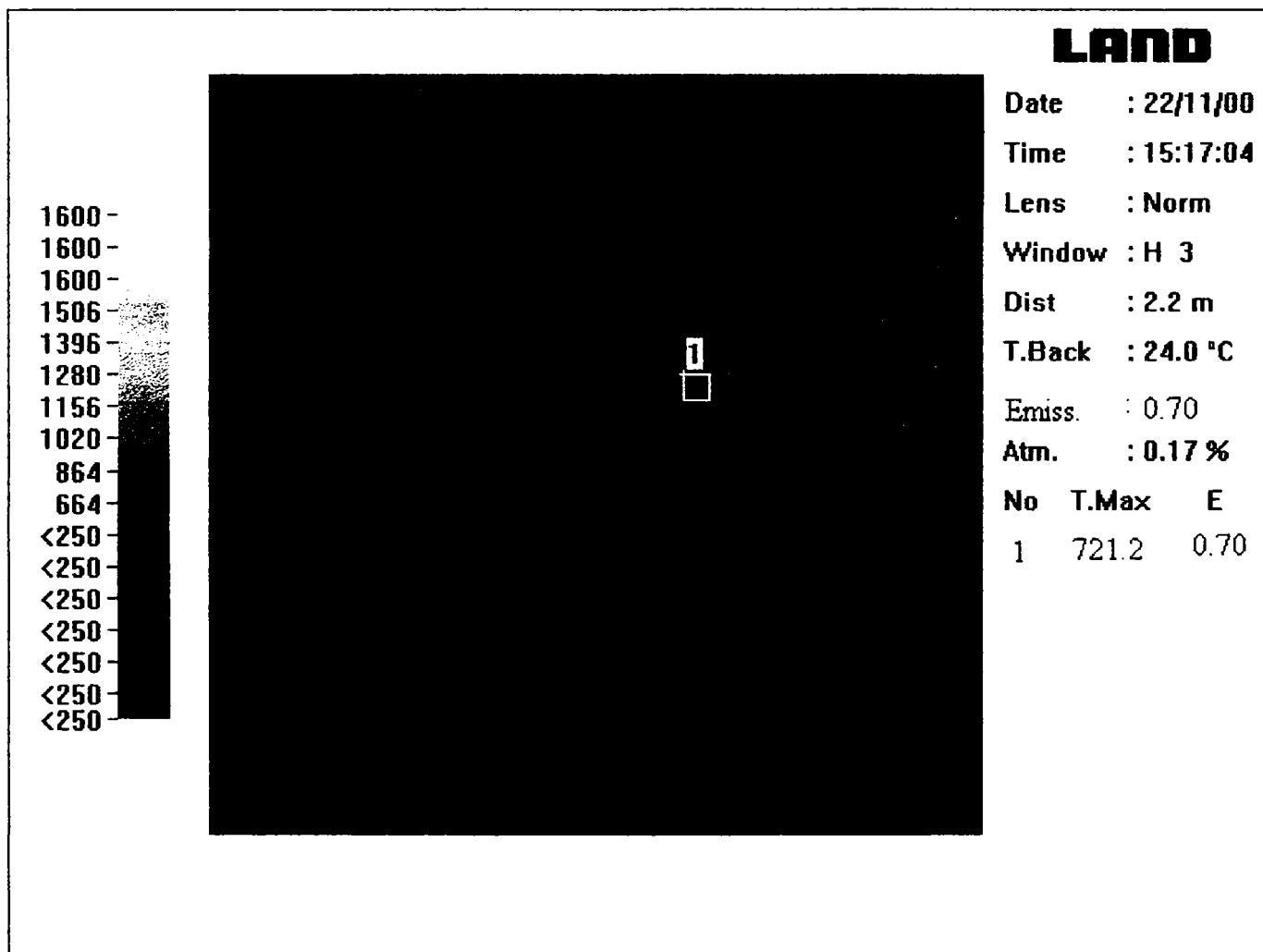


Figura 4.215. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBN45 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

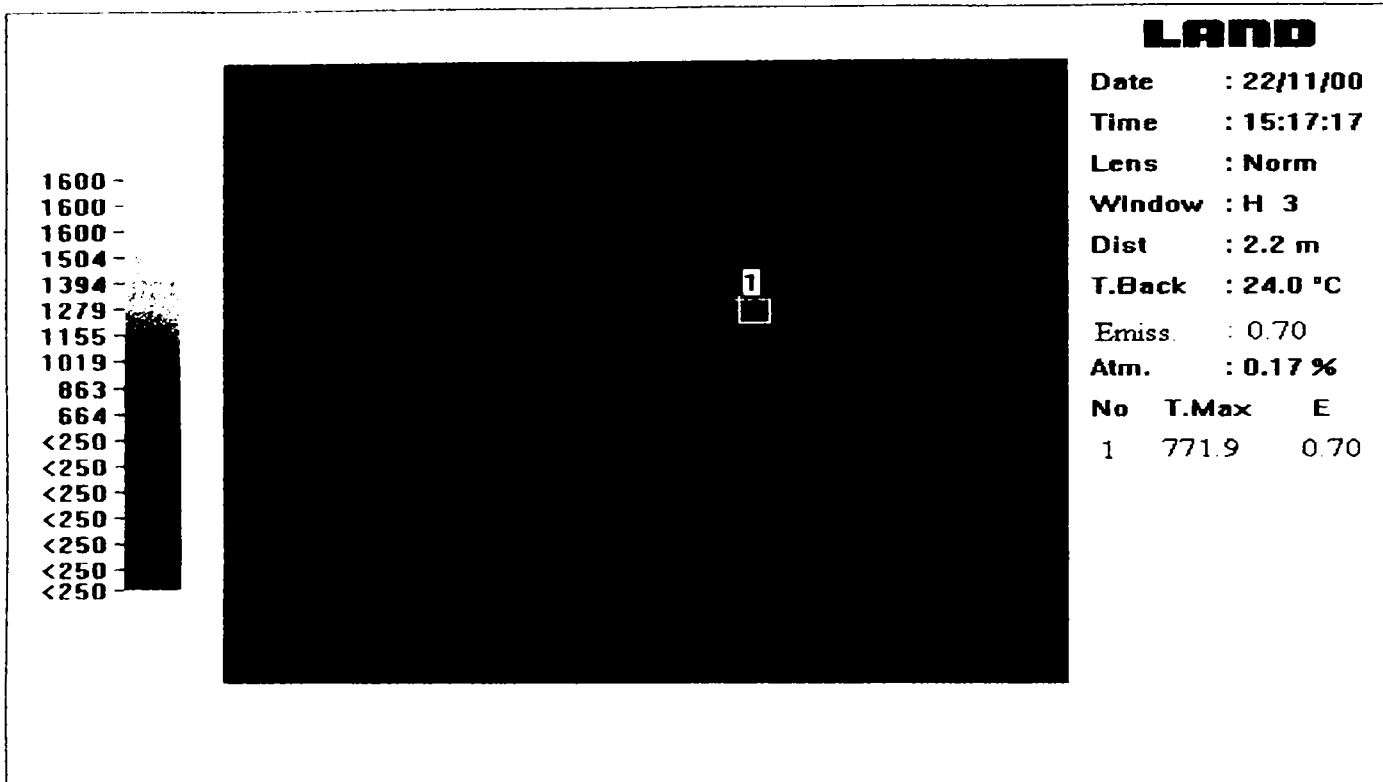


Figura 4.216. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBN45 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

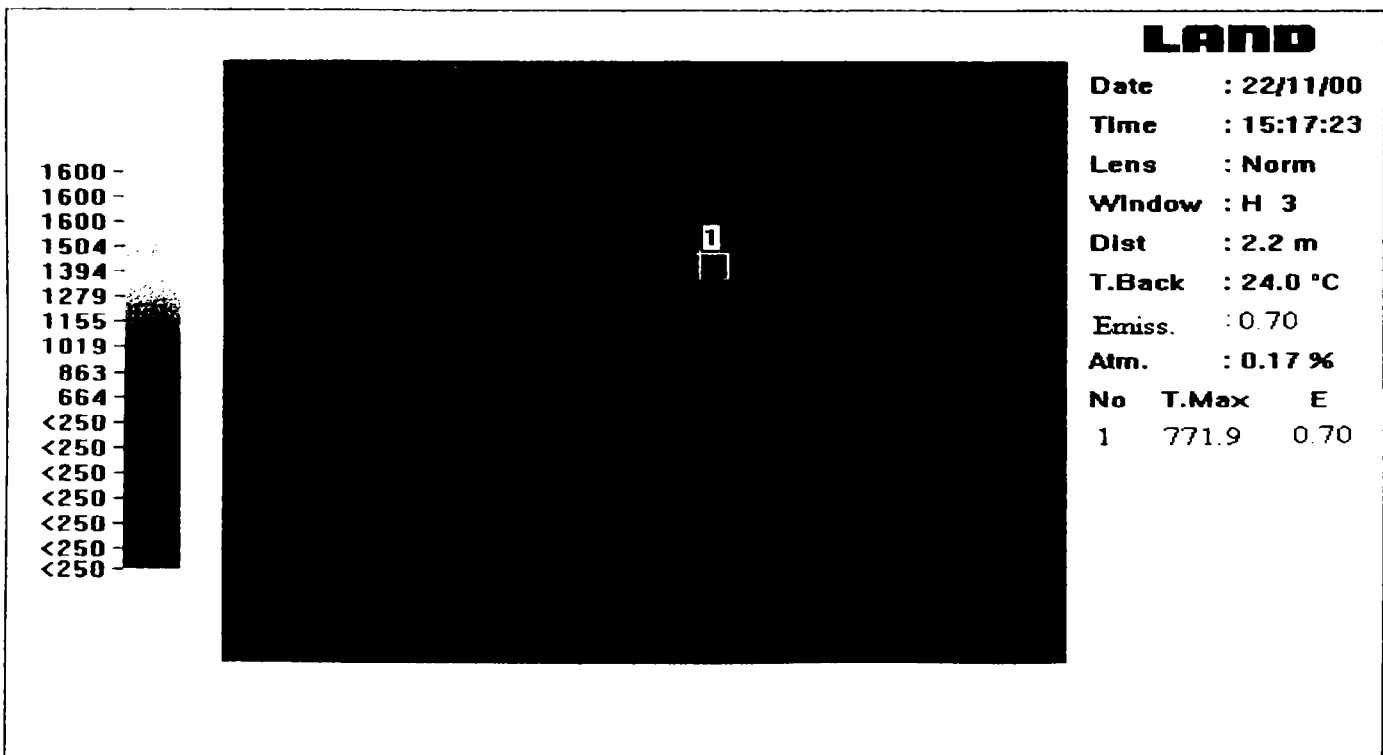


Figura 4.217. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBN45 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

După cum se poate observa analizând rezultatele obținute cu cele două regimuri de aşchiere se poate aprecia că o creştere a vitezei de aşchiere de la 140 la 180 m/min conduce pentru acest tip de material de sculă la o creştere a temperaturii cu peste 100°C, de la $T_{med.}=635,4^{\circ}C$ la $T_{med.}=755^{\circ}C$. Atunci când s-a lucrat cu cel de-al treilea regim de aşchiere R3: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, au fost înregistrate următoarele temperaturi: $T_1=685,1^{\circ}C$, $T_2=685,1^{\circ}C$, $T_3=685,1^{\circ}C$. Temperatura medie a fost: $T_{med.}=(T_1+T_2+T_3)/3=685,1^{\circ}C$. Aceste rezultate sunt prezentate în figurile 4.218 – 4.220.

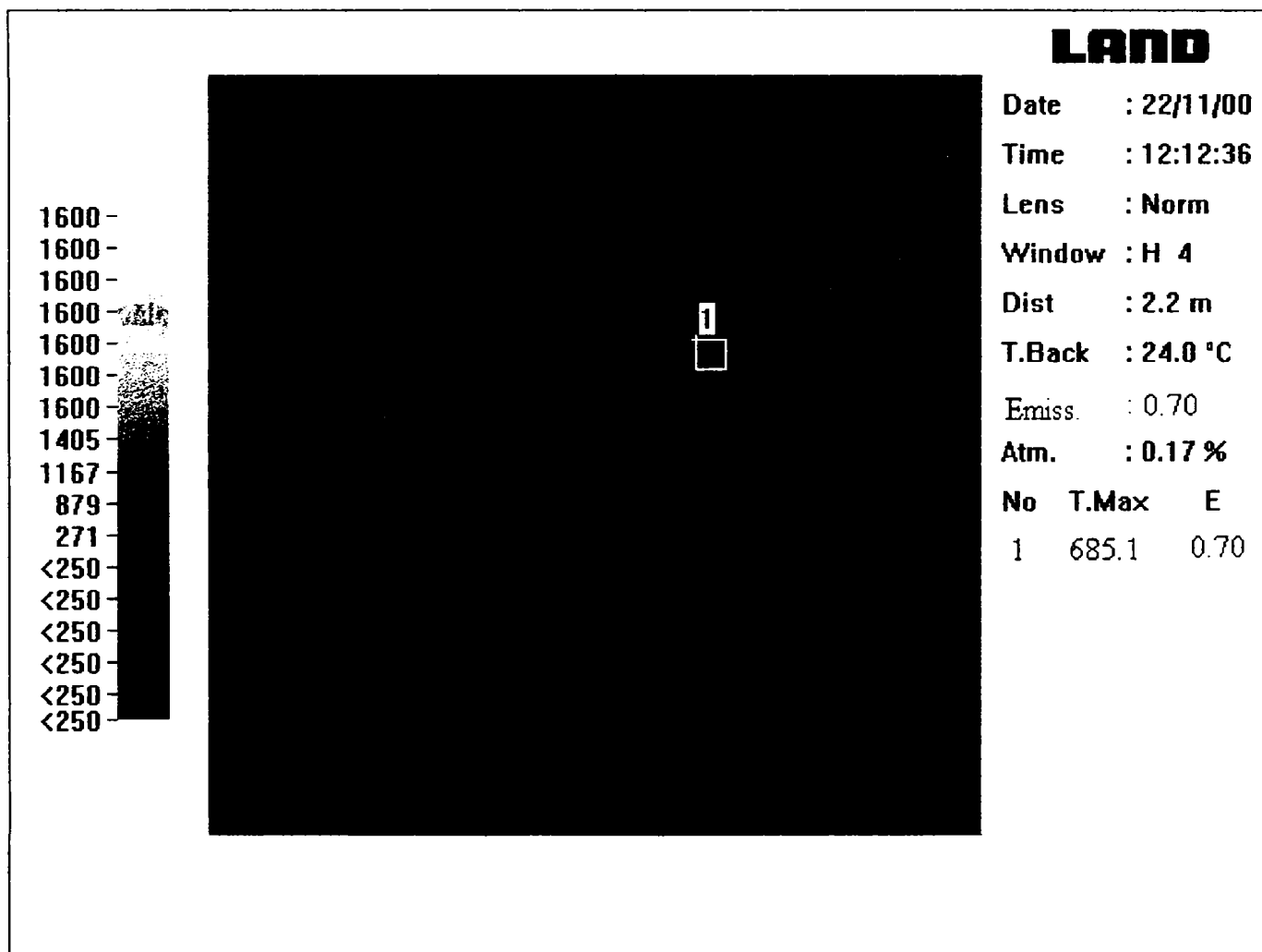


Figura 4.218. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBN45 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

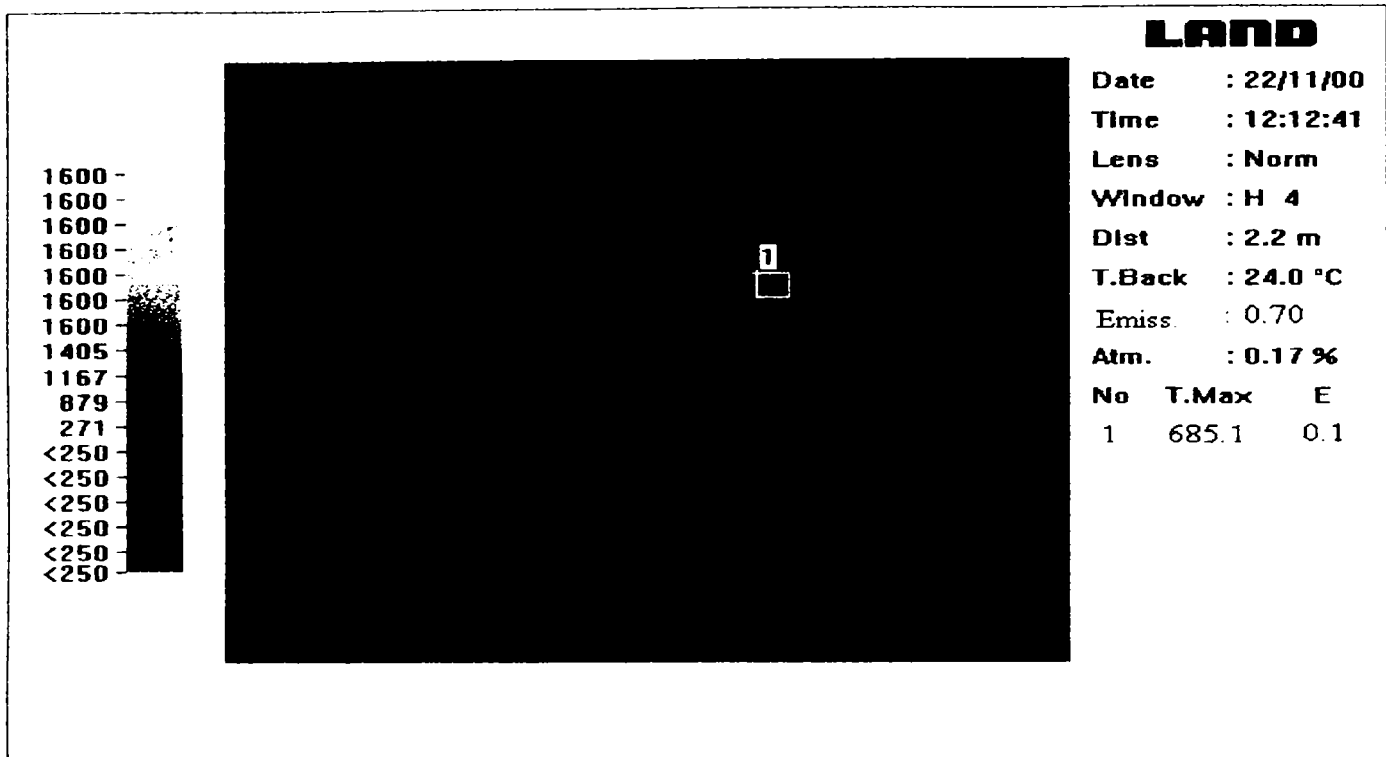


Figura 4.219. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBN45 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

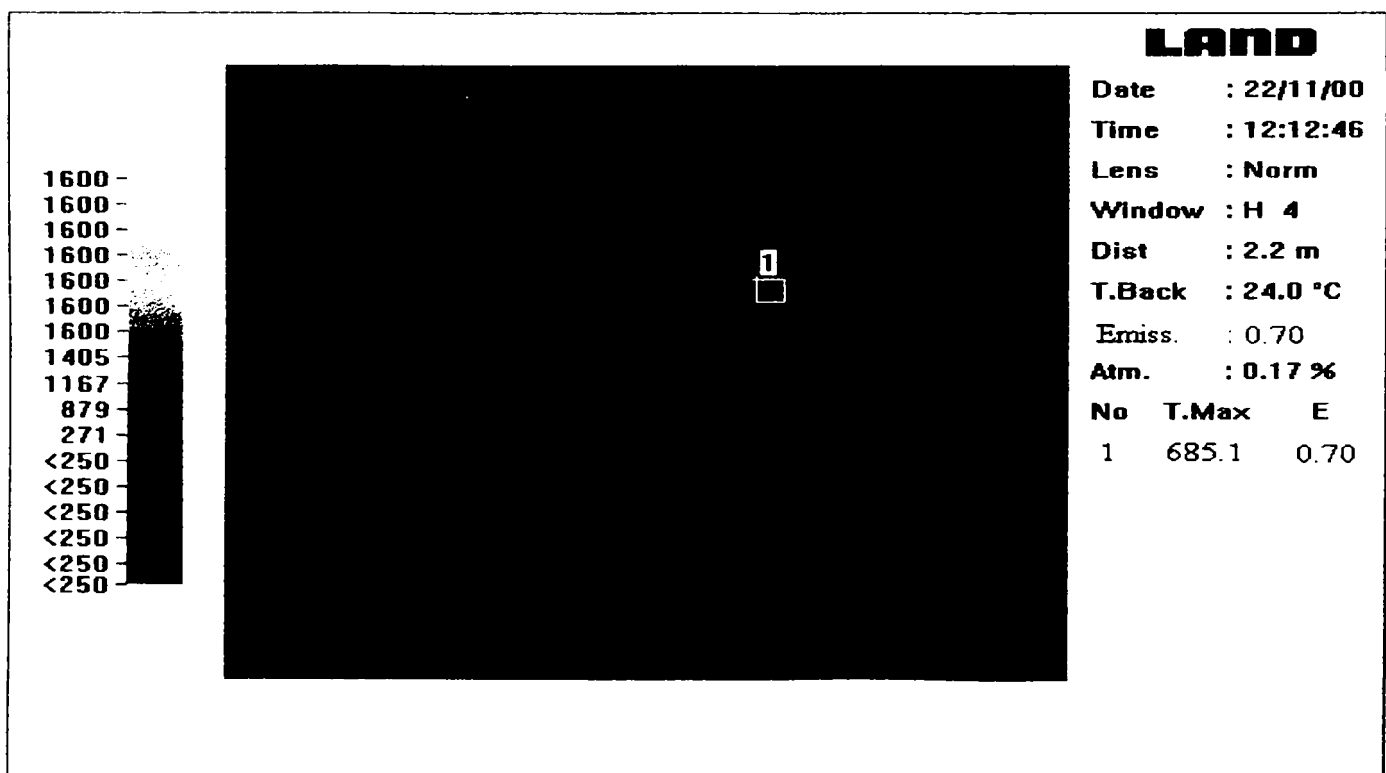


Figura 4.220. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBN45 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Comparând temperatura medie înregistrată cu regimul R1: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $T_{med.}=635,4^{\circ}C$, cu temperatura medie determinată în cazul folosirii regimului R3: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $T_{med.}=685,1^{\circ}C$, reiese că la o creștere a avansului de la 0,14 mm/rot la 0,22 mm/rot se înregistrează o creștere a valorii temperaturii de cca. $50^{\circ}C$. Această diferență nu este atât de mare ca în cazul modificării vitezei de așchiere, lucru care vine să confirme faptul că și în cazul sculei DBN45 este valabilă aceeași tendință înregistrată și la celelalte materiale de sculă analizate și anume că viteza de așchiere influențează temperatura în zona de contact într-un grad mai mare decât avansul de așchiere.

Cazul sculei DBC50

În cazul sculei DBC50 atunci când s-a lucrat cu regimul de așchiere R1: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm s-au obținut următoarele temperaturi: $T_1=623^{\circ}C$, $T_2=588,3^{\circ}C$, $T_3=588,3^{\circ}C$. Temperatura medie a fost $T_{med.}=600^{\circ}C$.

În figurile 4.221 – 4.223 sunt prezentate fotografiile în infraroșu corespunzătoare acestor valori ale temperaturii.

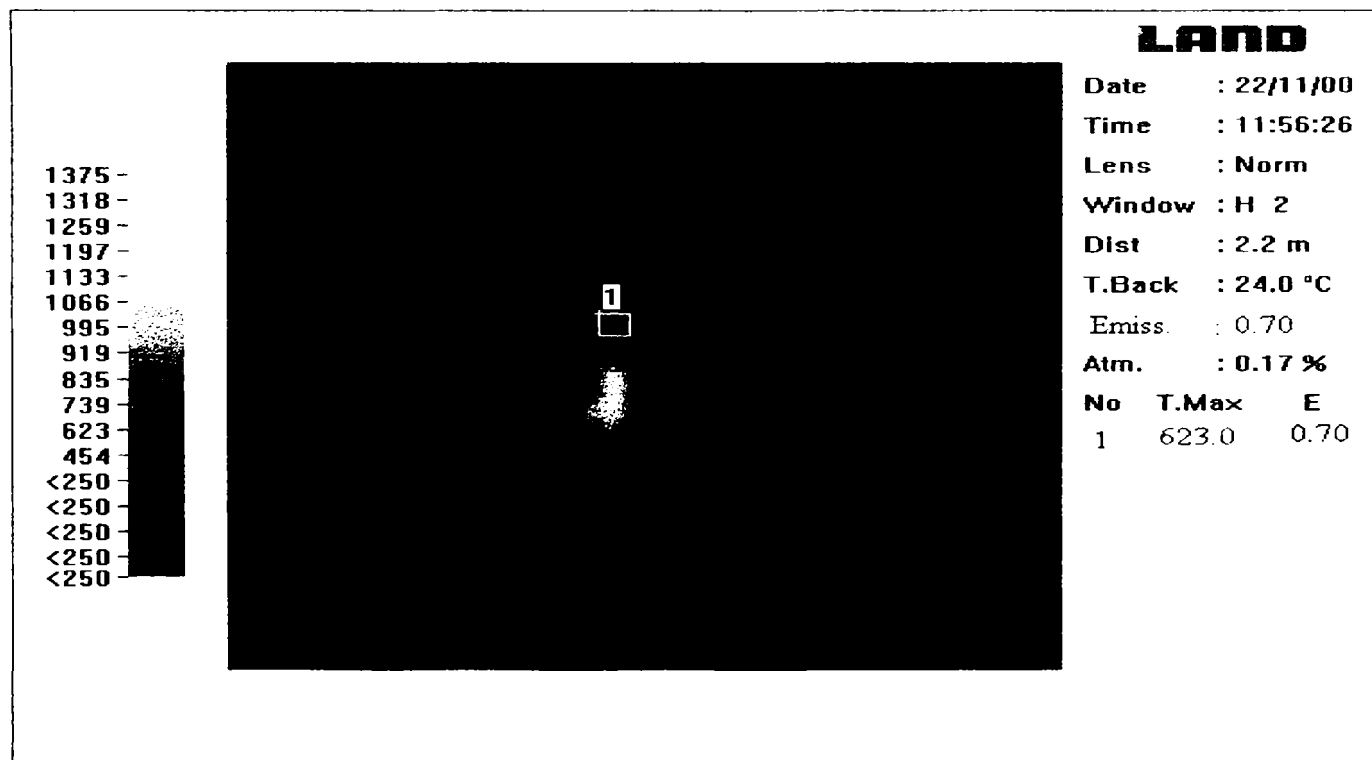


Figura 4.221. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBC50 utilizând următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

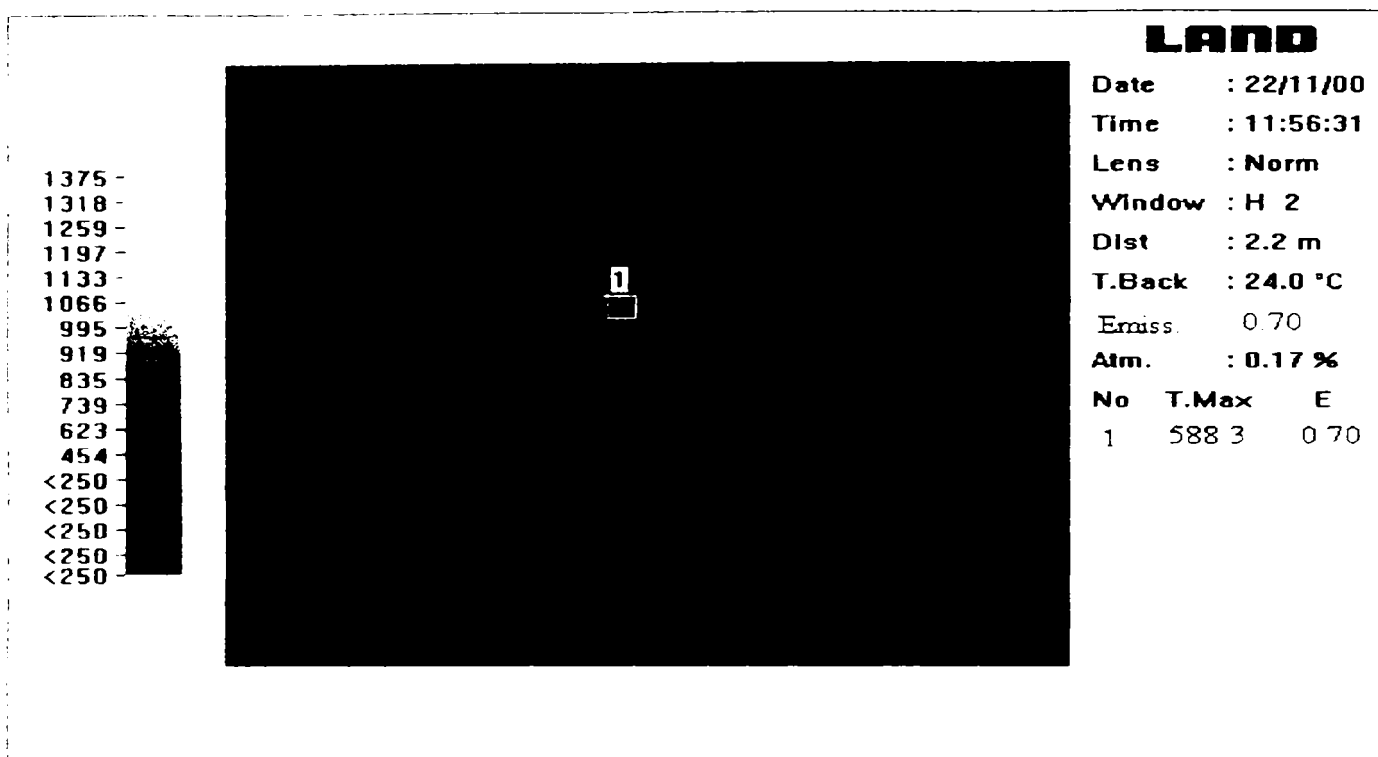


Figura 4.222. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBC50 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

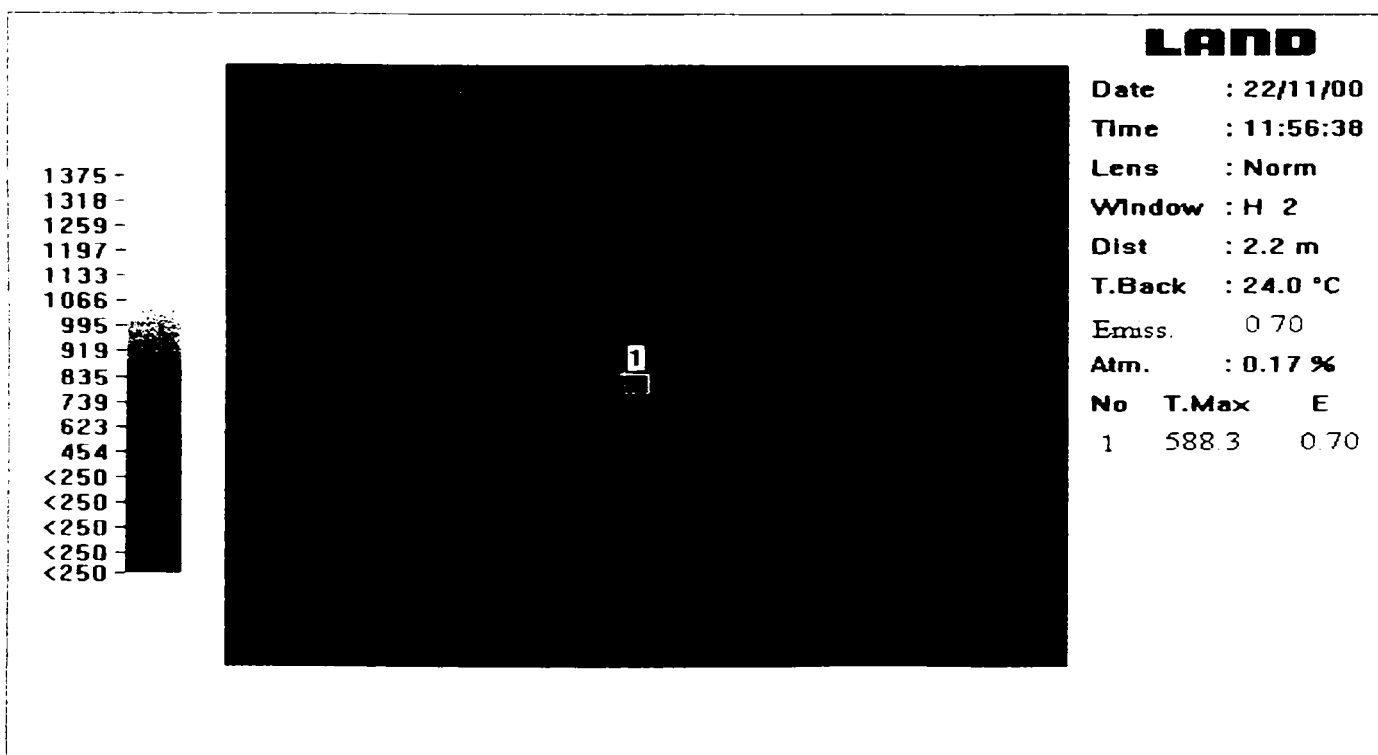


Figura 4.223. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBC50 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

În cazul utilizării regimului de aşchiere R2: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, în zona de contact sculă-piesă au fost înregistrate următoarele temperaturi: $T_1=829^{\circ}\text{C}$, $T_2=782,8^{\circ}\text{C}$, $T_3=829,7^{\circ}\text{C}$. Temperatura medie calculată ca media aritmetică a celor trei valori ale temperaturii prezentate anterior, a fost: $T_{med.}=813,5^{\circ}\text{C}$. Aceste rezultate se regăsesc în figurile 4.224 – 4.226 care reprezintă fotografiile în infraroșu făcute în condițiile utilizării regimului de aşchiere R2 la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula DBC50.

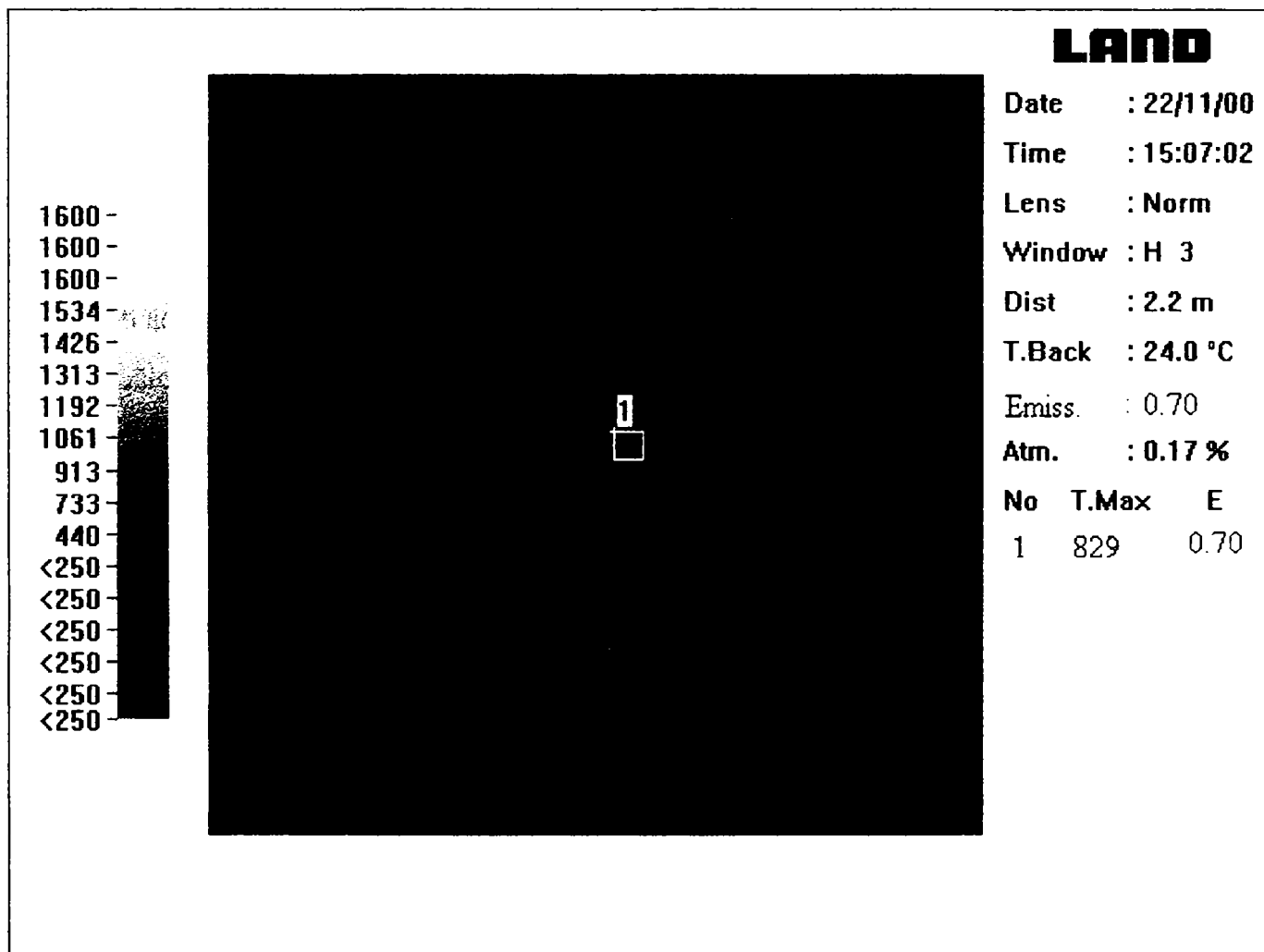


Figura 4.224. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBC50 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

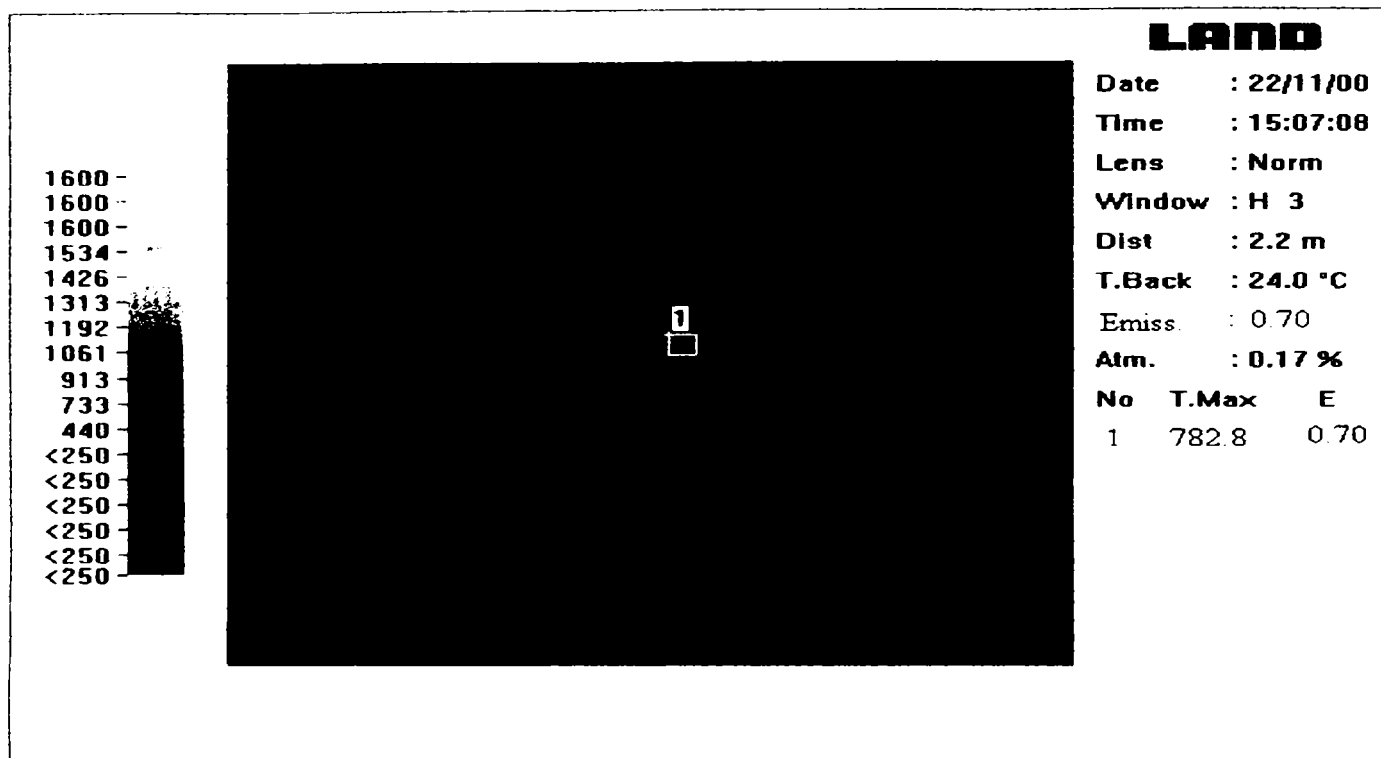


Figura 4.225. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBC50 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

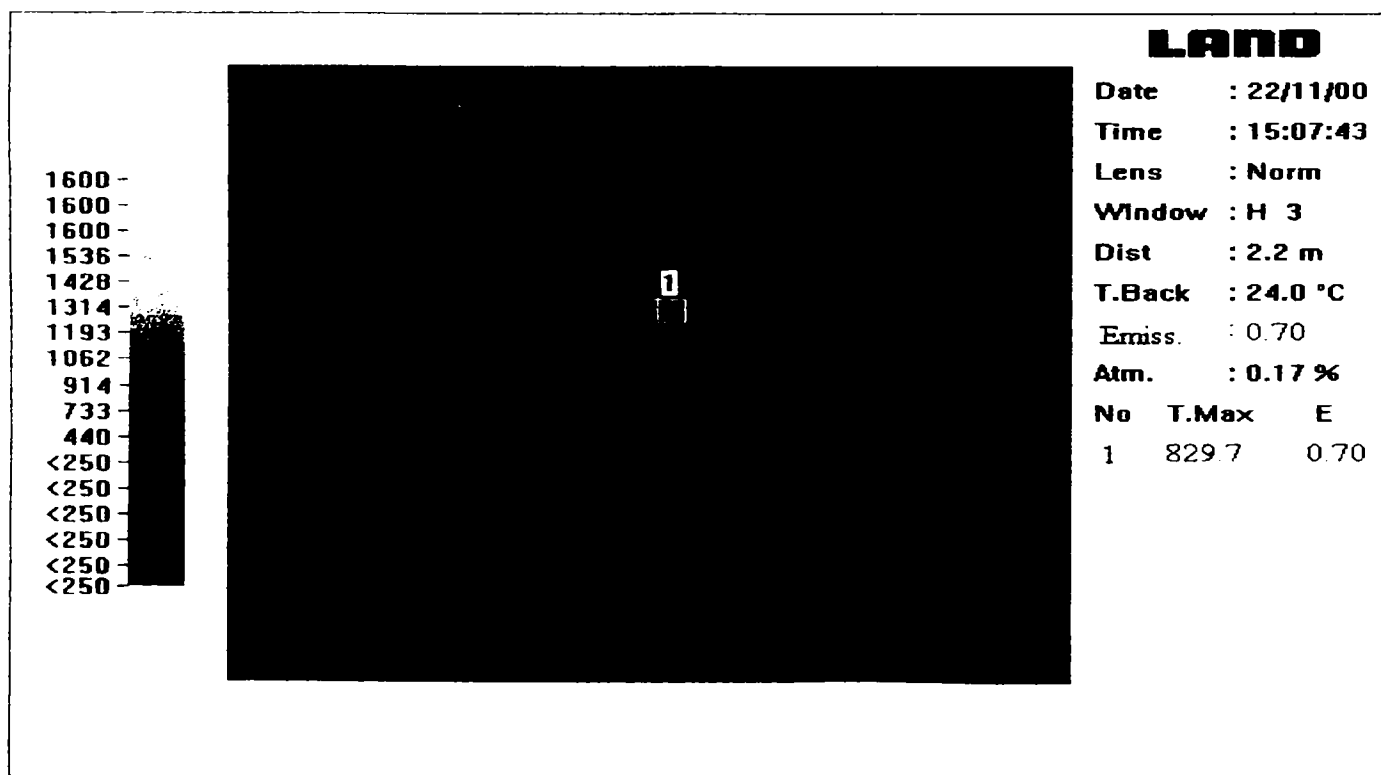


Figura 4.226. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBC50 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Tendința de creștere a temperaturii odată cu creșterea vitezei de așchiere s-a păstrat și în cazul utilizării acestui material de sculă, înregistrându-se o creștere a temperaturii cu peste 200⁰C atunci când s-a modificat viteza de așchiere de la 140 la 180 m/min ($T_{med.}=813^0C$ față de $T_{med.}=600^0C$).

În cazul celui de-al treilea regim de așchiere utilizat R3: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, au fost înregistrate următoarele temperaturi în zona de contact sculă-piesă: $T_1=704,4^0C$, $T_2=703,4^0C$, $T_3=702,8^0C$. Temperatura medie a fost: $T_{med.}=703,2^0C$. Valorile acestor temperaturi se regăsesc în figurile 4.227 – 4.229.

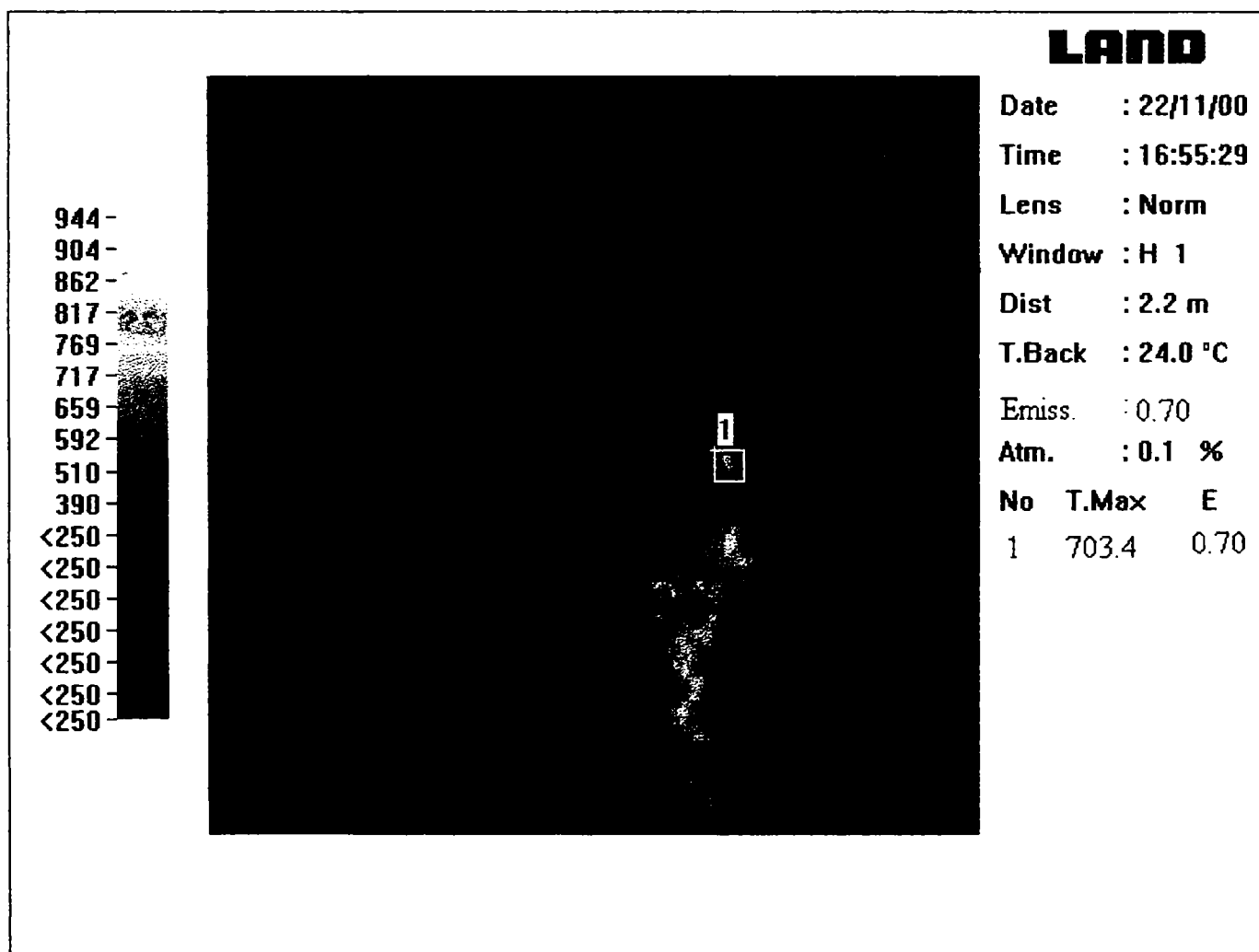


Figura 4.227. Temperatura înregistrată în cazul primei măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la așchiera oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBC50 utilizând următorul regim de așchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

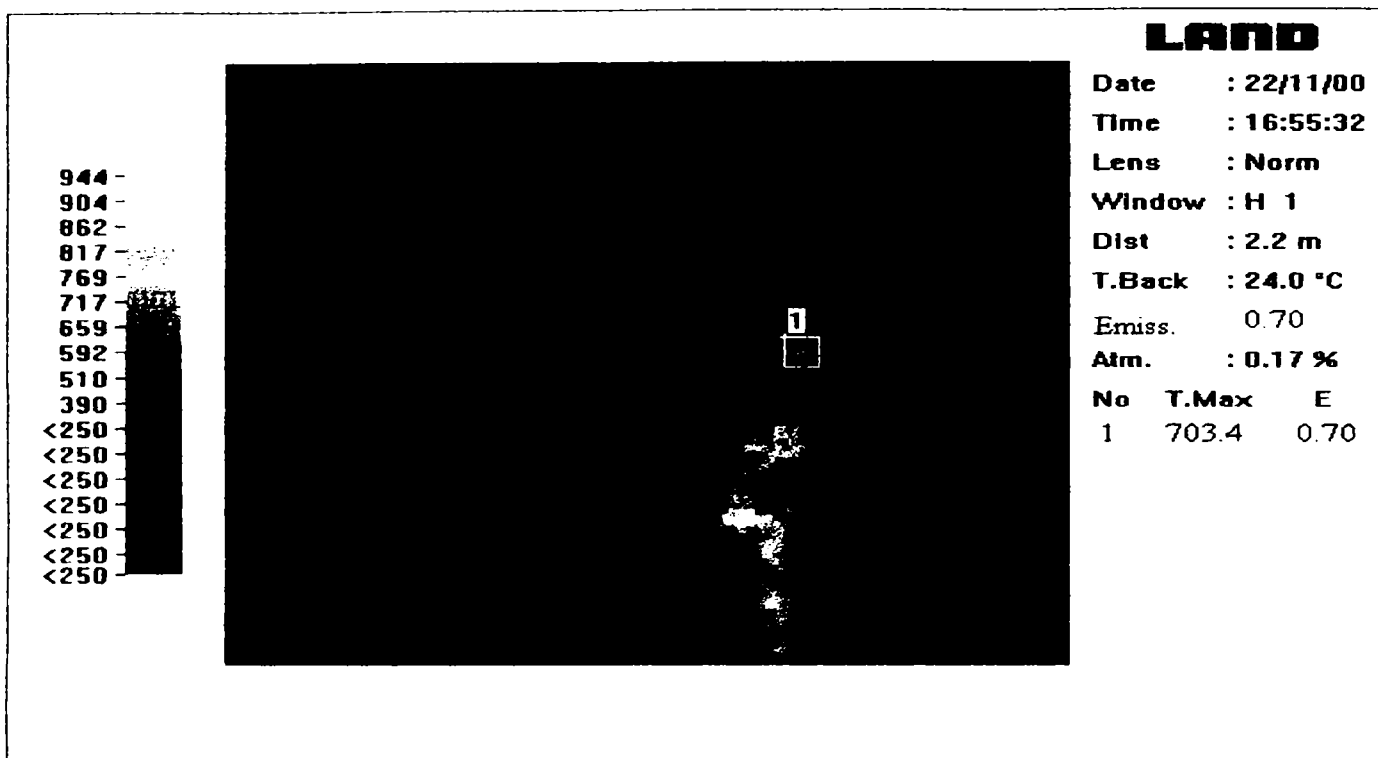


Figura 4.228. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a doua măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBC50 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

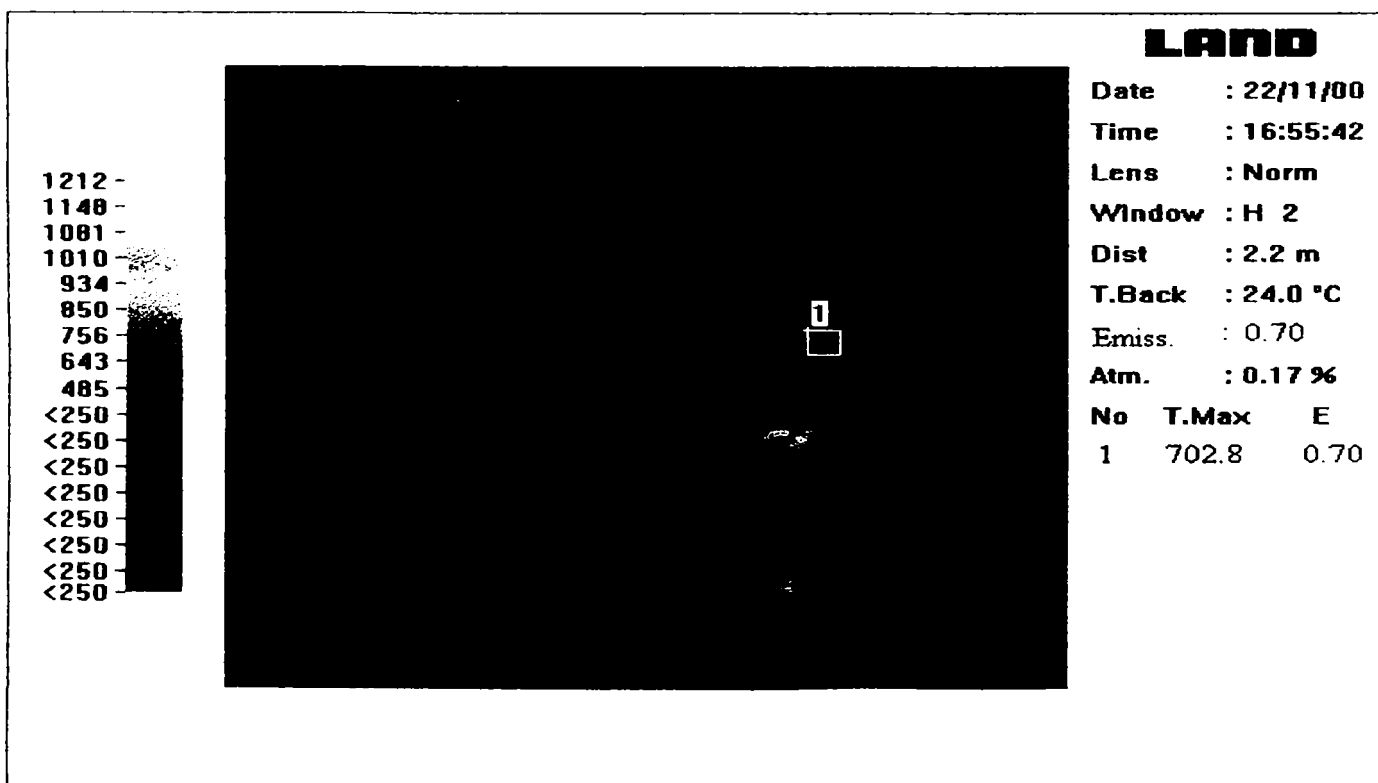


Figura 4.229. Temperatura înregistrată în cazul celei de-a treia măsurători, în zona de contact sculă-semifabricat la aşchierea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu plăcuța DBC50 utilizând următorul regim de aşchiere: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

La fel ca și în cazul celorlalte materiale de sculă utilizate, creșterea temperaturii în zona de așchiere, la creșterea avansului este mai mică comparativ cu creșterea vitezei de așchiere. În cazul folosirii regimurilor R1,R2 și R3 pentru scula DBC50 s-au înregistrat următoarele temperaturi:

- R1: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $T_{med.}=600^{\circ}C$,
- R2: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $T_{med.}=813,5^{\circ}C$,
- R3: $V_c=140$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $T_{med.}=703^{\circ}C$.

Se poate concluziona că pentru toate materialele de sculă utilizate, indiferent că sunt ceramice sau nitrură cubică de bor policristalină, influența variației vitezei de așchiere asupra temperaturii din zona de contact sculă-piesă, este mai mare decât influența avansului. Acest lucru este confirmat de afirmațiile altor cercetători [44, 5]. În ceea ce privește influența materialului sculei asupra temperaturii din zona de așchiere, rezultatele obținute pentru cele cinci materiale de sculă utilizând trei regimuri de așchiere diferite au fost sintetizate în tabelul 4.52.

Tabel 4.52. Temperaturile înregistrate în zona de așchiere la strunjirea oțelului 100 Cr6 cu duritatea 60-62 HRC în funcție de materialul sculei și regimul de așchiere utilizat

Regimul de așchiere Materialul sculei	R1	R2	R3
CC670	619,6 ⁰ C	980,7 ⁰ C	918,4 ⁰ C
CC650	641,7 ⁰ C	1014,3 ⁰ C	731,5 ⁰ C
CB7020	359,3 ⁰ C	640,5 ⁰ C	592,2 ⁰ C
DBN45	635,4 ⁰ C	755 ⁰ C	685,1 ⁰ C
DBC50	600 ⁰ C	813,5 ⁰ C	703,2 ⁰ C

Concluzii

- Analizând influența parametrilor regimului de așchiere și a materialului sculei asupra temperaturii dezvoltate în zona de așchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, s-a observat că pentru toate cele cinci materiale de sculă utilizate (două ceramice și trei scule din nitrură cubică de bor policristalină) influența vitezei de

așchiere asupra temperaturii din zona de contact sculă-piesă este mai mare decât influența avansului de așchiere.

- În urma analizei rezultatelor prezentate în tabelul 4.52 este evident faptul că scula din nitrură cubică de bor policristalină, CB7020 înregistrează cele mai scăzute temperaturi în zona de așchiere. Acest lucru poate fi explicat prin faptul că acest material de sculă are o conductibilitate termică superioară tuturor celorlalte materiale de sculă. Prin urmare capacitatea acestui material de sculă de a disipa căldura din zona de așchiere este mai mare și astfel integritatea muchiei așchietoare este păstrată un timp mai îndelungat. Acest lucru este în deplină concordanță cu rezultatele obținute în tabelul 4.51 unde se poate observa că cele mai mici abateri de la circularitate s-au obținut tocmai cu acest material de sculă.
- Din tabelul 4.52 reiese că și celelalte două materiale din nitrură cubică de bor înregistrează temperaturi mai scăzute în zona de așchiere decât materialele ceramice datorită faptului că în general conductibilitatea termică a sculelor așchietoare din nitrură cubică de bor este mai mare decât a ceramicelor. Acest lucru poate prezenta un avantaj dacă se are în vedere că solicitarea termică a muchiei așchietoare este mai redusă putând îmbunătăți astfel durabilitatea sculei. Pe de altă parte conductibilitatea termică ridicată a sculelor din nitrură cubică de bor poate fi un dezavantaj datorită faptului că o temperatură mai ridicată în zona de așchiere, specifică prelucrării cu scule ceramice, poate să conducă la o „înmuiere” a materialului de prelucrat micșorând astfel eforturile de așchiere și îmbunătățind procesul de așchiere în ansamblu.

4.6. Cercetări privind modificările stratului de suprafață în funcție de parametrii regimului de așchiere și de materialul sculei la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu diferite materiale de sculă

Prin modificarea stratului de suprafață se înțelege, în contextul prezentei lucrări, apariția unor modificări de structură, a unor transformări de fază ce pot contribui la apariția așa-numitului „strat alb” în suprafața așchiată. Acest „strat alb” apare ca rezultat al unor modificări de microstructură și se numește „alb” deoarece în urma atacării suprafeței așchiate cu diverși acizi și privit la microscopul optic, apare având culoarea albă. Acest strat alb prezintă o duritate mare, deseori depășind duritatea materialului de bază. Acest strat alb a fost găsit în urma prelucrării prin diferite procedee de prelucrare prin așchiere cum ar fi: rectificarea [117, 114], prelucrarea prin eroziune electrică [80, 109], găurirea [57]. De asemenea în cazul strunjirii oțelurilor cu duritate mare, există o serie de cercetători care au semnalat prezența stratului alb în suprafața așchiată [75, 58, 116, 3, 120, 85, 133, 131]. Cei mai mulți au subliniat faptul că acest strat se produce atunci când sculele așchietoare ating un anumit nivel de uzură și de asemenea atunci când crește viteza de așchiere. Deși stratul alb apare în urma unei transformări de fază, evoluția microstructurii în timpul formării stratului alb nu a fost pe deplin elucidată. Martensita care reprezintă microstructura de la care se pornește în cazul așchierii oțelurilor cu duritatea mare este o structură metastabilă care în situația în care în procesul de așchiere se atinge temperatura de austenitizare, poate conduce la apariția austenitei în stratul de suprafață. Acest lucru nu se petrece în cazul călirii convenționale când se pleacă de la o structură „moale” a oțelului formată din ferită cu cementită și care necesită menținerea la o anumită temperatură având ca rezultat dizolvarea cementitei în austenită. Ca urmare ia naștere un strat martensitic nerevenit cunoscut în literatura de specialitate sub denumirea (UTM – untempered martensitic layer) care are o duritate mai mare decât materialul de bază, este foarte fragil, conține tensiuni reziduale și este predispus la fisurare având o rezistență scăzută la oboseală [98].

Temperatura necesară pentru a iniția modificarea structurală depinde de conținutul de carbon din materialul prelucrat. Ferita (α) se va transforma în austenita (γ) deasupra temperaturii de transformare eutectoidă (723°C), completând transformarea după traversarea liniilor la care începe transformarea feritei în austenită și a cementitei

secundare în austenită. Dacă materialul este răcit suficient de rapid austenita se va transforma rapid în martensită nerevenită (α'). Creșterea substanțială a austenitei în suprafața așchiată, în cazul prelucrării oțelurilor cu duritate mare se realizează probabil datorită insuficienței răcirii sau lipsei revenirii atunci când în suprafața așchiată este atinsă temperatura de recălire urmată de auto-răcire în timpul așchierii [39]. De cele mai multe ori imediat sub stratul alb se găsește un strat mai întunecat numit strat suprarevenit (OTM – over tempered layer) a cărui duritate este ceva mai mică decât a materialului de bază.

În lucrarea de față s-a urmărit influența parametrilor regimului de așchiere V_c , f_n , a_p și a materialului sculei așchietoare asupra stratului alb, lucrându-se cu o uzură $V_B=0$, deci cu muchii așchietoare noi. S-au folosit opt regimuri de așchiere, cinci materiale de sculă și un material de prelucrat 100Cr6, utilizându-se practic aceleași condiții ca în cazul analizei preciziei de prelucrare în paragraful 4.4. Prin urmare au fost analizate tronsoanele așchiate cu fiecare din cele opt regimuri de așchiere și cele cinci materiale de sculă prezentate în paragraful 4.4. Pentru aceasta tronsoanele respective au fost debitate utilizând lichid de răcire pentru a nu influența termic zona ce urma să fie studiată. Mostrele debitate corespunzător fiecărui tronson au fost apoi pregătite în vederea studiului metalografic fiind montate într-o rășină epoxidică. S-a realizat lustruirea suprafeței ce urma să fie studiată utilizând hârtie abrazivă cu diferite granulații în ordine crescătoare pentru a obține o calitate a suprafeței care să permită studiul metalografic al acesteia în cele mai bune condiții. În final s-au lustruit mostrele cu pâslă și s-a realizat atacul cu o soluție de 2% nital în metanol.

Cele opt regimuri de așchiere utilizate au fost:

- R1 - $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- R2 - $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- R3 - $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- R4 - $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm,
- R5 - $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R6 - $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R7 - $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,
- R8 - $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,

În urma analizei metalografice a stratului superficial din suprafața așchiată cu ajutorul unui microscop optic s-au putut face următoarele aprecieri. În cazul utilizării

primului regim de aşchiere R1 corespunzător primului tronson pentru fiecare material de sculă împarte nu a putut fi detectată prezența stratului alb.

În figura 4.230 a, b, c, d, e sunt prezentate fotografiile la microscopul optic în care se vede microstructura suprafeței aşchiate pentru toate cele cinci materiale de sculă utilizate.

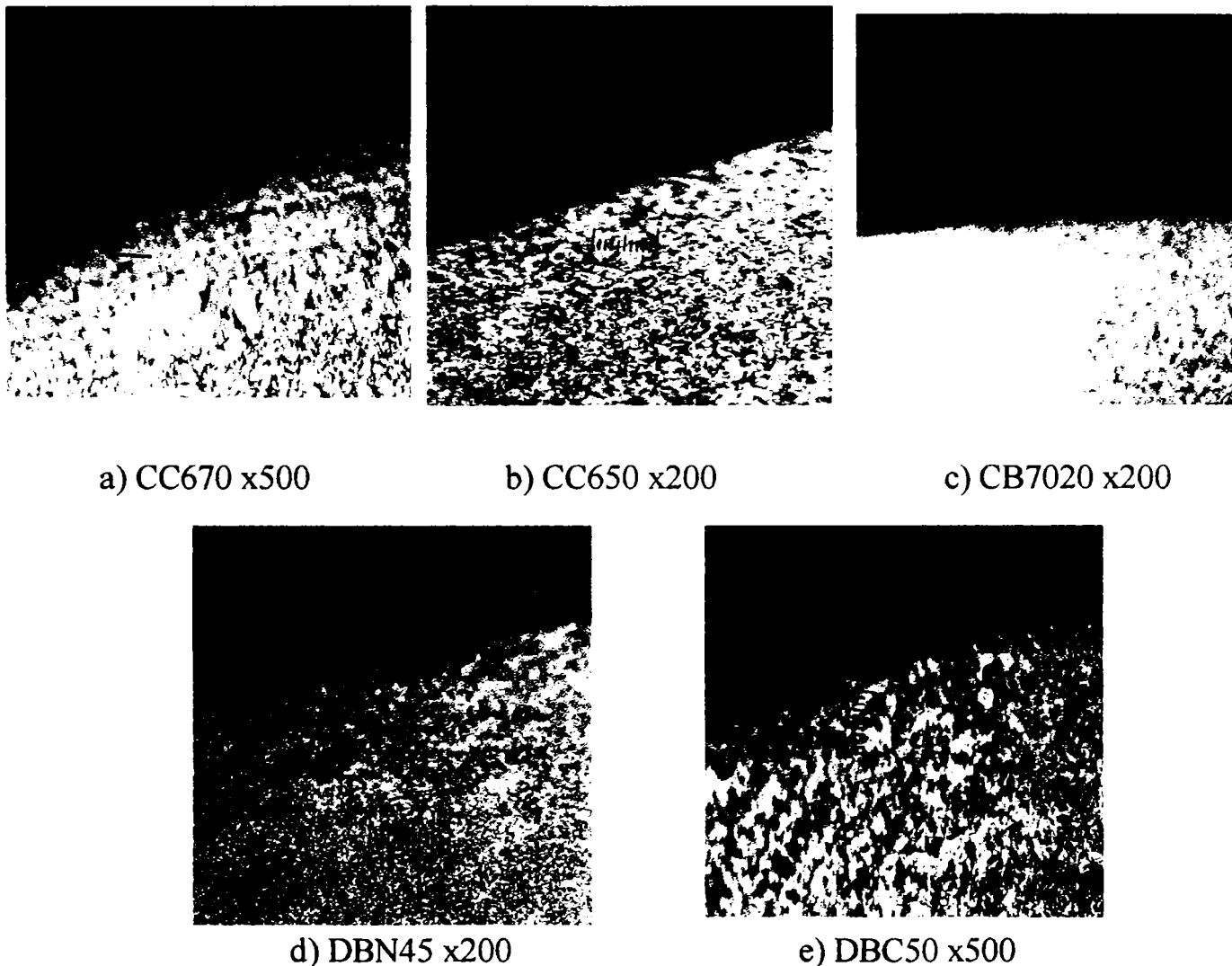


Figura 4.230. Microstructura suprafeței aşchiate cu diferite materiale de sculă cu regimul de aşchiere R1 - $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

Din figura 4.230 se vede că nu s-a înregistrat apariția unui strat alb în niciunul din cazurile utilizării vreunuia din cele cinci materiale de sculă. Același lucru s-a întâmplat și în cazul utilizării regimurilor R2, R5 și R6. Când s-au utilizat cele patru regimuri de aşchiere menționate anterior nu s-a putut pune în evidență prezența unui strat alb.

În cazul utilizării regimului de așchiere R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm rezultatele analizelor metalografice la microscopul optic sunt prezentate în figura 4.231.

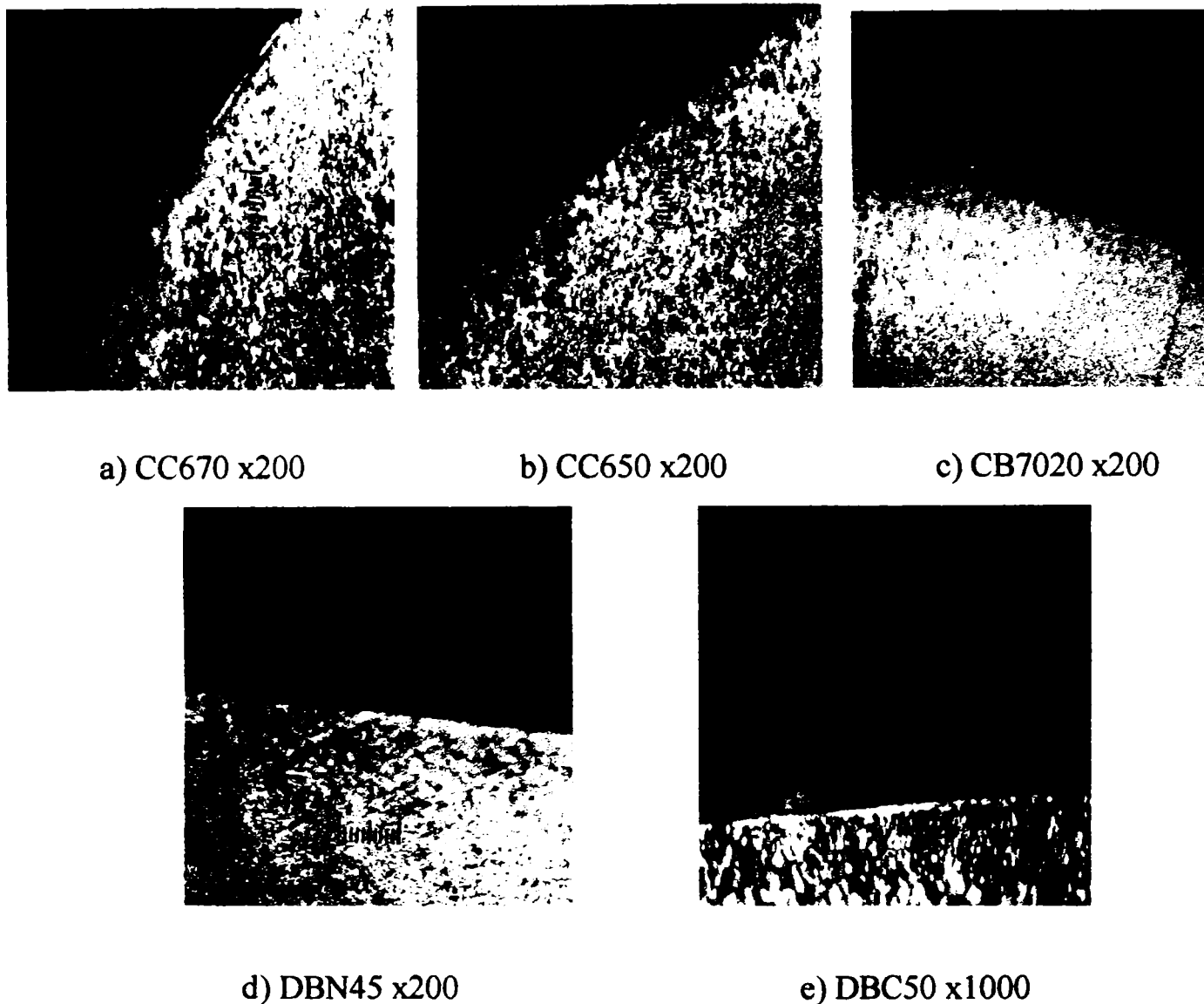


Figura 4.231. Microstructura suprafeței așchiate cu diferite materiale de sculă cu regimul de așchiere R3: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,5$ mm

Din figura 4.231 se observă că pentru materialele ceramice este vizibilă prezența stratului alb care apare ca o bandă subțire întreruptă a cărei grosime nu depășește $2 \mu\text{m}$. Nu același lucru se poate spune în cazul sculei din CB7020 unde prezența stratului alb nu este foarte clar pusă în evidență. Acest lucru ar putea fi explicat prin faptul că acest material de sculă pe bază de nitrură cubică de bor policristalină prezintă o conductibilitate termică mai bună decât ceramicile care îi permite să disipe mai ușor căldura din zona de așchiere, menținând în acest fel temperatura sub pragul de austenitizare la care se inițiază fenomenul producerii stratului alb. În subcapitolul 4.5 s-a arătat că în cazul utilizării unui regim de așchiere relativ apropiat de regimul R3 și anume $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot

și $a_p=0,25$ mm temperatura atinsă în zona de așchiere a fost de numai $640,5^{\circ}\text{C}$, deci sub pragul temperaturii de austenitizare. În figura 4.231.d) se vede o situație asemănătoare cu cea din figura 4.231.c), însă totuși prezența stratului alb este mai distinctă decât în cazul anterior. În figura 4.231.e) de asemenea se observă vag stratul alb a cărui grosime pare să nu depășească $2\ \mu\text{m}$ și care nu are o alură continuă. Se poate concluziona deci că o creștere a vitezei de așchiere de la $100\ \text{m/min}$ în cazul R1 la $180\ \text{m/min}$ în cazul R3, conduce la apariția stratului alb la majoritatea sculelor așchietoare cu excepția CB7020.

În figura 4.232 sunt prezentate microstructurile suprafeței așchiate cu cele cinci materiale de sculă utilizate cu regimul de așchiere: R4 - $V_c=180\ \text{m/min}$, $f_n=0,22\ \text{mm/rot}$, $a_p=0,5\ \text{mm}$

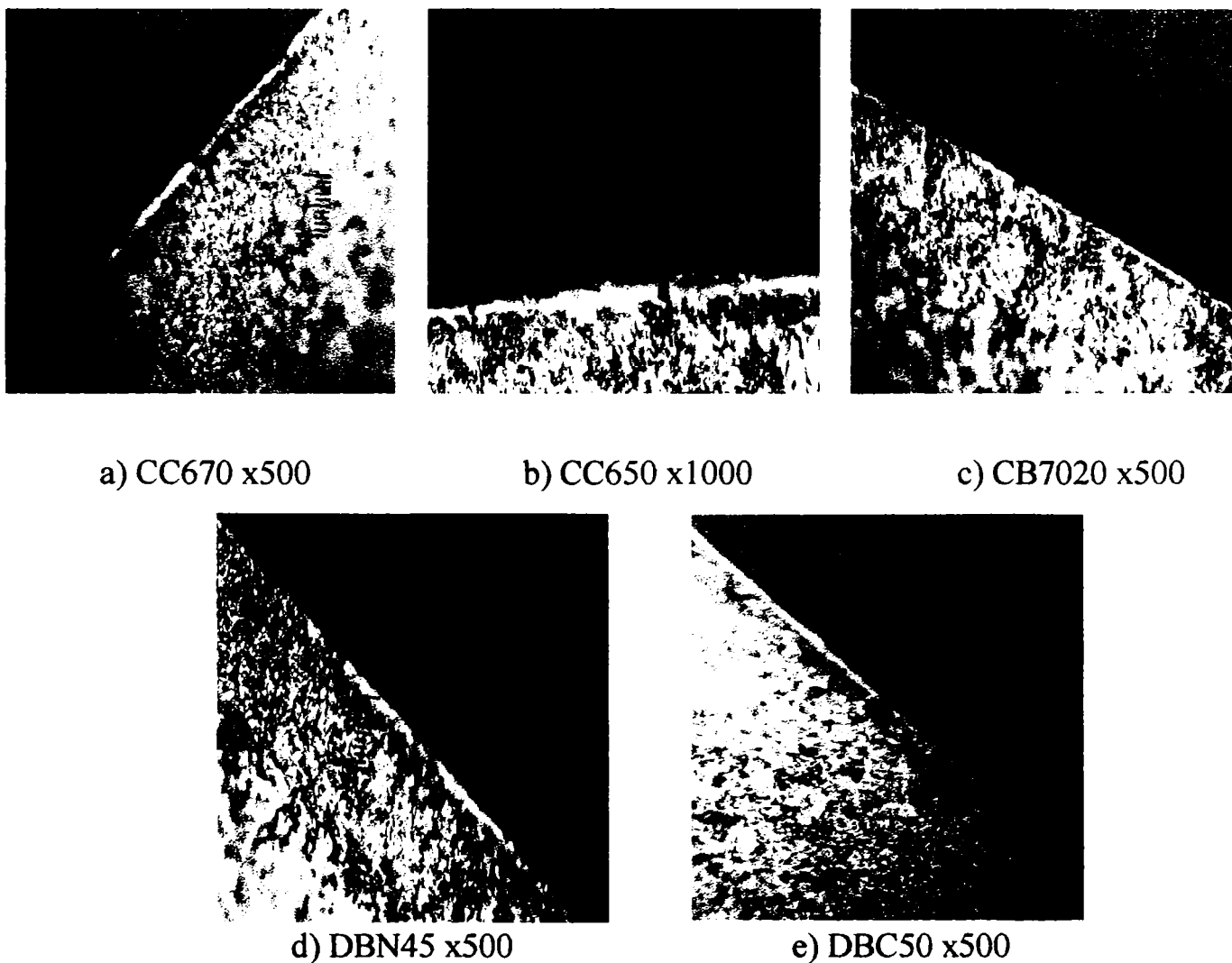


Figura 4.232. Microstructura suprafeței așchiate cu diferite materiale de sculă cu regimul de așchiere: R4 - $V_c=180\ \text{m/min}$, $f_n=0,22\ \text{mm/rot}$, $a_p=0,5\ \text{mm}$

De această dată în toate imaginile din figura 4.232 este vizibilă prezența stratului alb, lucru ce ar putea fi datorat creșterii temperaturii datorită măririi ratei avansului de la $0,14\ \text{mm/rot}$ în cazul R3 la $0,22\ \text{mm/rot}$ în cazul R4.

În figura 4.233 sunt prezentate microstructurile materialului așchiat cu cele cinci materiale de sculă folosite cu regimul de așchiere R7 $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm.

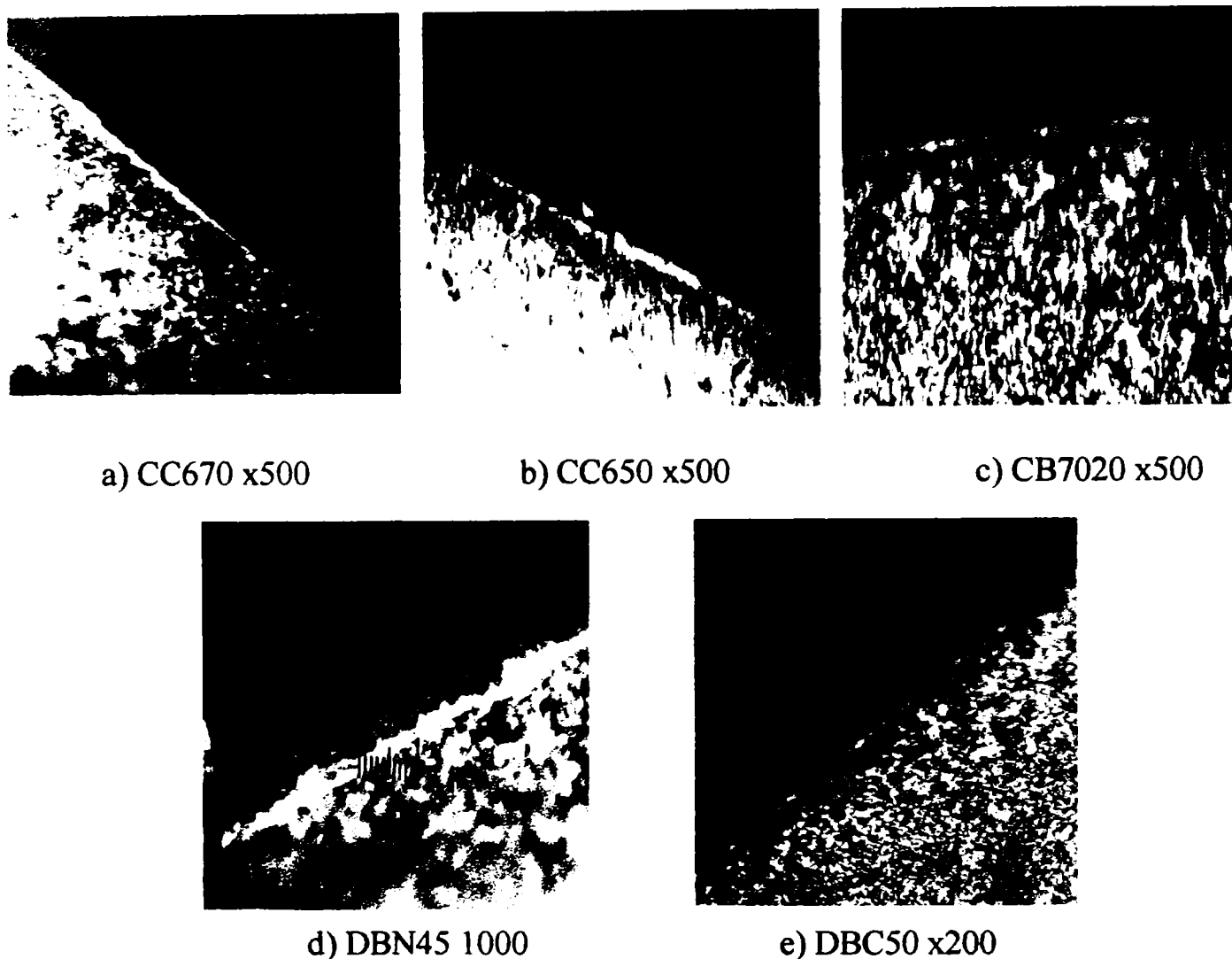


Figura 4.233. Microstructura suprafeței așchiate cu diferite materiale de sculă cu regimul de așchiere: R7 $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

În figura 4.233 se observă existența stratului alb indiferent de materialul de sculă utilizat. Stratul alb este vizibil ca o bandă continuă prezentând unele întreruperi în cazul suprafeței așchiate cu scula DBC50.

În figura 4.234 se pot vedea microstructurile suprafețelor așchiate cu cele cinci materiale de sculă folosind regimul de așchiere R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm.

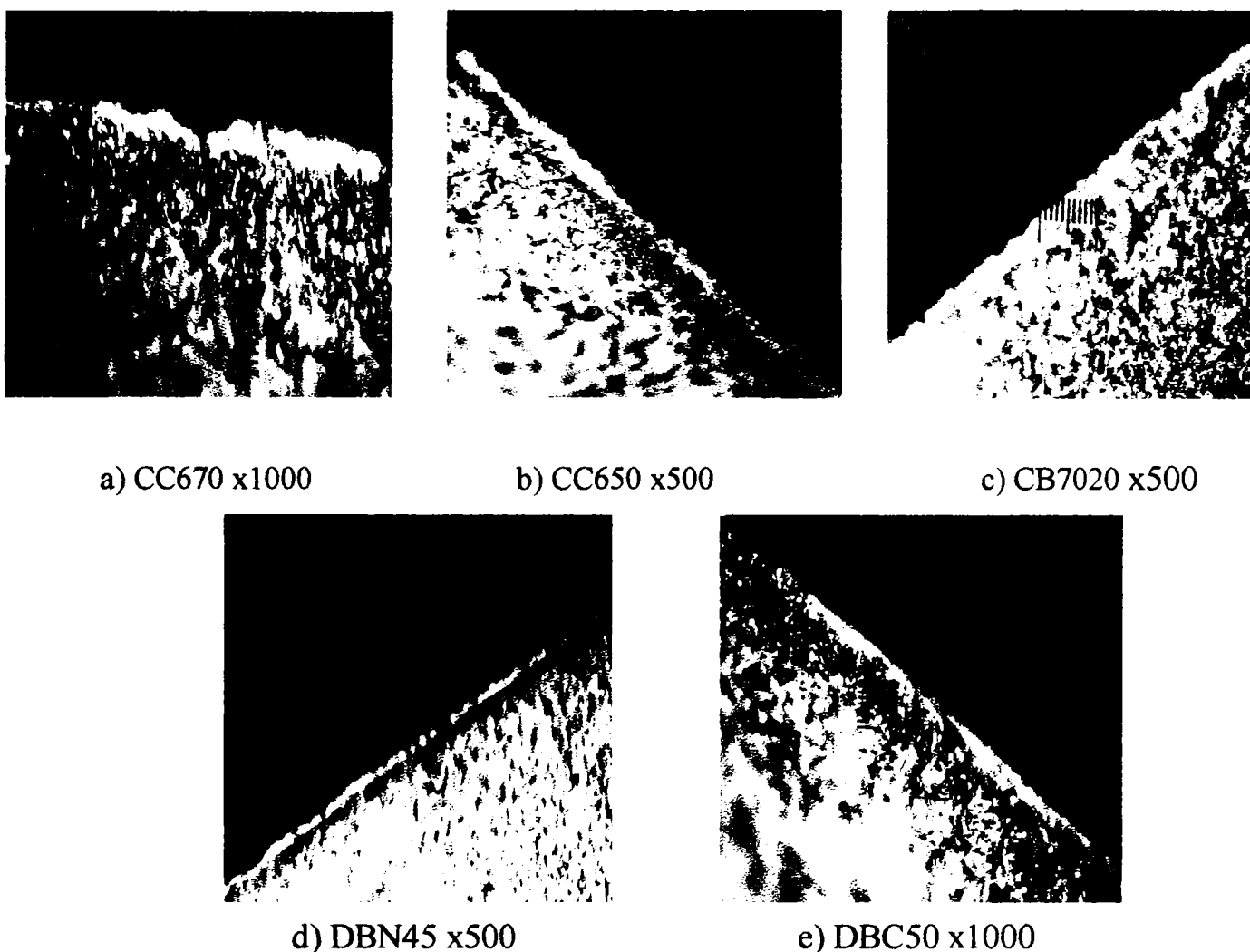


Figura 4.234. Microstructura suprafeței așchiate cu diferite materiale de sculă cu regimul de așchiere: R8: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

La fel ca în figura 4.232, 4.233 și în figura 4.234 se vede că formarea stratului alb se produce în cazul utilizării regimului de așchiere R8, în suprafețele așchiate cu toate cele cinci materiale de sculă.

Concluzii

- În urma celor prezentate se poate concluziona că materialul sculei nu are o influență foarte mare asupra apariției modificărilor în stratul superficial ce au ca și consecință apariția stratului alb.
- Faptul că în cazul utilizării unor regimuri de așchiere ca R1, R2, R5 și R6 în care viteza de așchiere a fost mai mică și anume 100 m/min nu s-a pus în evidență existența stratului alb spre deosebire de cazul când s-a lucrat cu regimurile R3, R4, R7 și R8 când $V_c=180$ m/min, conduce la concluzia că viteza de așchiere influențează apariția stratului alb. Acest lucru a fost menționat și de Chou și Evans [39]. Explicația acestui fenomen ar putea fi dată prin prisma faptului că viteza de

așchiere influențează într-o măsură mult mai mare temperatura din zona de așchiere decât avansul sau adâncimea de așchiere, lucru pus în evidență și în subcapitolul 4.5. Prin urmare odată cu creșterea vitezei de așchiere are loc și o creștere substanțială a temperaturii în zona de așchiere care poate atinge temperatura de austenitizare pentru materialul ce se prelucrează, creând astfel premisele apariției stratului alb.

4.7. Cercetări privind analiza formei așchiilor

În cadrul acestui subcapitol s-a încercat o analiză a formei așchiilor obținute în urma așchierii oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scule ceramice și din nitrură cubică de bor. Analiza formei așchiilor este un aspect ce nu trebuie neglijat prin prisma faptului că de forma așchiilor depinde siguranța operatorului de pe mașina-unelte, decurgerea în bune condiții a procesului de așchiere, datorită volumului și modului de evacuare a așchiilor din zona de lucru. Ar fi de preferat ca în urma procesului de așchiere să rezulte așchii fragmentate care nu pun în pericol securitatea operatorului, ocupă un volum mai mic, iar evacuarea lor din zona de așchiere se face ușor. În figura 4.235- 4.237 sunt analizate tipurile de așchii rezultate la strunjirea cu scula CC650 pentru a pune în evidență influența variației avansului asupra formei așchiilor la viteze de așchiere relativ reduse. S-a lucrat cu viteze și adâncimi de așchiere constante, iar așchiile au fost prelevate atunci când uzura sculei a prezentat valori apropiate pentru fiecare caz în parte, astfel încât uzura sculei să nu fie considerată factor de influență.

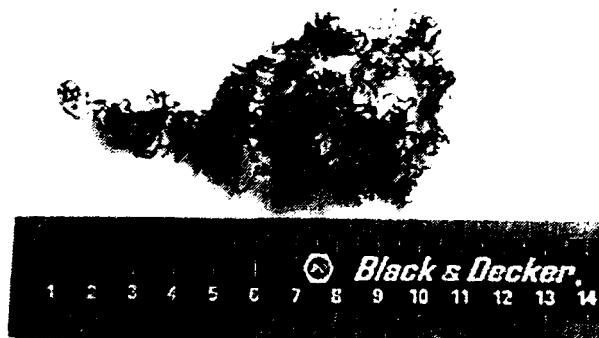


Figura 4.235 Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CC650 și regimul de așchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,14$ mm

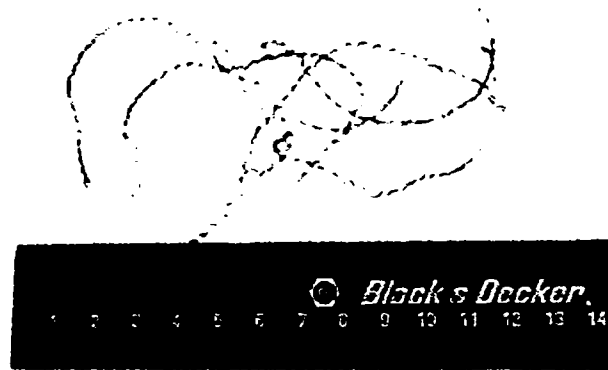


Figura 4.236 Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CC650 și regimul de așchiere: $V_c=100$ m/min. $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,

$$V_B=0,12 \text{ mm}$$



Figura 4.237 Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CC650 și regimul de așchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,

$$V_B=0,1 \text{ mm}$$

Din figurile prezentate mai sus reiese că la utilizarea unui avans de 0,06 mm/rot rezultă așchii încălcite care sunt nefavorabile din punct de vedere al siguranței operatorului și al volumului așchiilor. Odată cu mărirea avansului la valoarea 0,14 mm/rot are loc modificarea formei așchiilor care tind spre forma unor panglici spiralate. Creșterea în continuare a avnsului la valoarea 0,22 mm/rot conduce la obținerea unor așchii fragmentate. Aceasta pare să fie cea mai favorabilă situație din punct de vedere al formei așchiilor.

În figurile 4.238 – 4.240 s-a făcut aceeași analiză a formei așchiilor în funcție de variația avansului de așchiere dar de această dată la o valoare a vitezei de așchiere aproape dublă $V_c=180$ m/min.

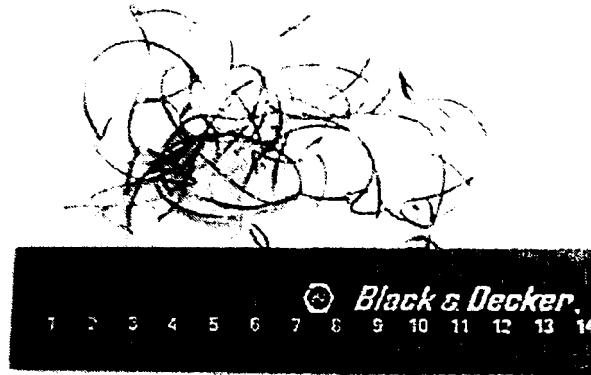


Figura 4.238 Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CC650 și regimul de așchiere: $V_c=180\text{m/min}$, $f_n=0,06\text{mm/rot}$, $a_p=0,25\text{ mm}$,
 $V_B=0,13\text{ mm}$

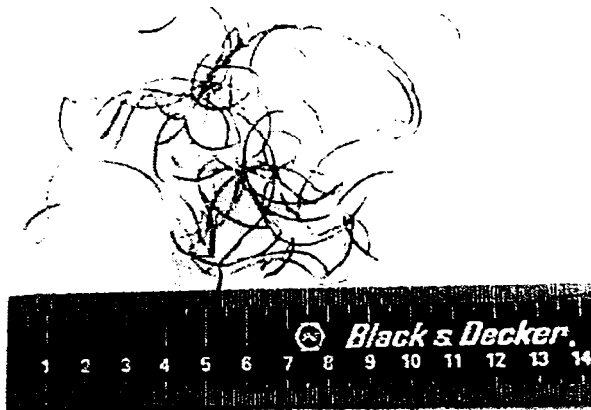


Figura 4.239 Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CC650 și regimul de așchiere: $V_c=180\text{ m/min}$, $f_n=0,14\text{ mm/rot}$, $a_p=0,25\text{ mm}$,
 $V_B=0,1\text{ mm}$

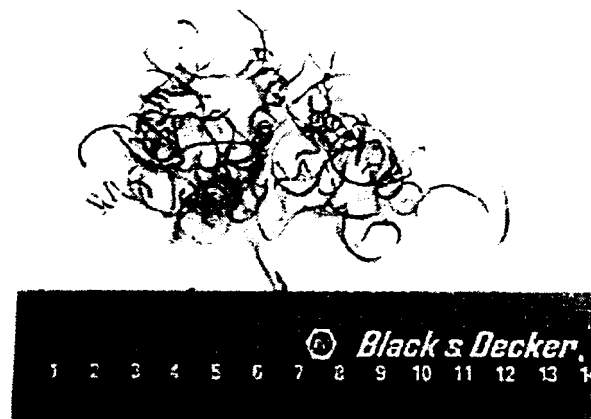


Figura 4.240 Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CC650 și regimul de așchiere: $V_c=180\text{ m/min}$, $f_n=0,22\text{ mm/rot}$, $a_p=0,25\text{ mm}$,
 $V_B=0,1\text{ mm}$

Din figurile 4.238 – 4.240 se observă că atunci când se lucrează cu viteze mai mari de aşchiere influența variației avansului asupra formei aşchiilor se reduce. În toate cele trei cazuri prezentate mai sus se obțin aşchii încâlcite.

Se poate încerca o analiză a influenței vitezei de aşchiere asupra formei aşchiilor comparând perechile de figuri 4.235 cu 4.238, 4.236 cu 4.239 și 4.237 cu 4.240. Analizând perechea 4.235 cu 4.238 se vede că la o creștere a vitezei de aşchiere, $V_c=180$ m/min, forma aşchiilor se modifică în sensul că se obțin tot aşchii încâlcite, dar în cazul când viteza de aşchiere este mai mare, aşchia capătă un aspect de panglică care nu mai este așa spiralată ca în cazul utilizării unei viteze de 100 m/min. Acest lucru reiese și din compararea figurilor 4.236 cu 4.239. Analizând figurile 4.237 și 4.240 se poate observa că o creștere a vitezei de aşchiere împiedică formarea aşchiilor fragmentate, lucru menționat și în unele lucrări de specialitate [101, 103, 104, 88].

O analiză similară a fost făcută pentru cazul unei scule din nitrură cubică de boe policristalină și anume CB7020. În figurile 4.241 – 4.243 sunt prezentate formele aşchiilor rezultate în urma modificării avansului de aşchiere de la 0,06 mm/rot la 0,22 mm/rot la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CB7020. La fel ca și în cazul sculei CC650 au fost menținute constante viteza de aşchiere $V_c=100$ m/min și adâncimea de aşchiere $a_p=0,25$ mm. Pentru ca uzura să nu influențeze forma aşchiilor s-a făcut prelevarea acestora la valori apropiate ale uzurii pentru fiecare din regimurile de aşchiere studiate.

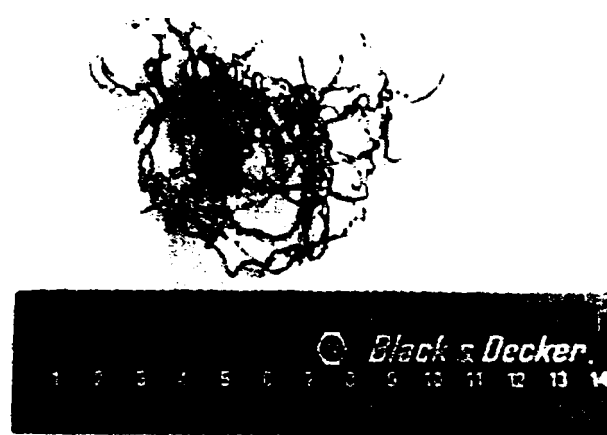


Figura 4.241 Forma aşchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CB7020 și regimul de aşchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,2$ mm

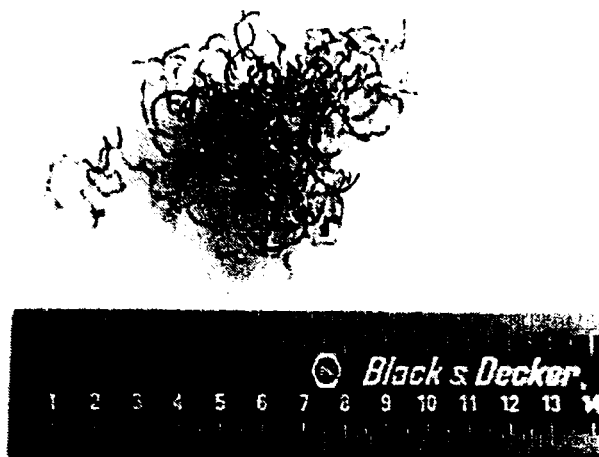


Figura 4.242 Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CB7020 și regimul de așchiere: $V_c=100$ m/min. $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,

$$V_B=0,18 \text{ mm}$$



Figura 4.243 Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CB7020 și regimul de așchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm,

$$V_B=0,2 \text{ mm}$$

Din figurile de mai sus se vede că pentru avansuri de 0,06 mm/rot și 0,14 mm/rot nu apar modificări substanțiale ale formei așchiilor pentru regimul de așchiere utilizat. În cazul așchierii cu un avans de 0,22 mm/rot forma așchiilor se modifică. În figura 4.243 așchia nu mai are aspectul încâlcit ce poate fi văzut în figurile 4.241 și 4.242. ci se prezintă sub forma unor panglici spiralate de lungime relativ redusă.

La fel ca în figurile 4.235 – 4.237 pentru cazul așchierii cu scula CC650 și în cazul de față există tendința de a obține o formațiune de așchie mai favorabilă odată cu mărirea avansului de la 0,06 mm/rot la 0,22 mm/rot.

În figurile 4.244 – 4.246 este prezentată influența avansului de așchiere asupra formei așchiilor în cazul utilizării unei viteze de așchiere mai mari, $V_c=180$ m/min.



Figura 4.244. Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CB7020 și regimul de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,2$ mm

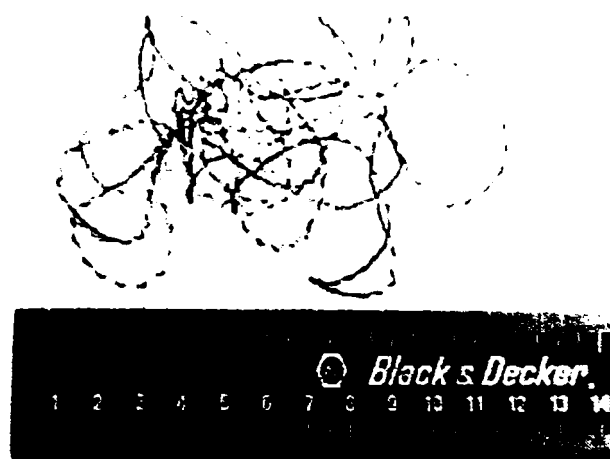


Figura 4.245. Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CB7020 și regimul de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,17$ mm

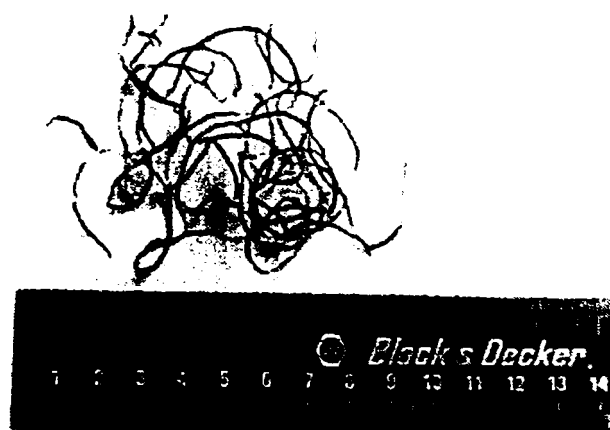


Figura 4.246. Forma așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, cu scula CB7020 și regimul de așchiere: $V_c=180$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm, $V_B=0,2$ mm

Analizând figurile 4.244 – 4.246 se poate vedea că la avansuri de așchiere mici, 0.06mm/rot, se obțin fragmente de așchii spiralate cu lungimi de 8-10 cm, iar odată cu

creșterea avansului la valori de 0,14 mm/rot sau 0,22 mm/rot apar acele așchii încălcite care nu sunt de natură să favorizeze procesul de așchiere.

Pentru a încerca o evaluare asupra formei așchiilor în cazul strunjirii cu plăcuța din nitrură cubică de bor, CB7020, se poate face o comparație între perechile de figuri 4.241 cu 4.244, 4.242 cu 4.245 și 4.243 cu 4.246.

Analizând figurile 4.241 și 4.244 se poate vedea că la avansuri mici de 0,06 mm/rot, creșterea vitezei de așchiere de la 100 la 180 m/min duce la o modificare benefică a formei așchiilor în sensul că se trece de la o așchie încălțită la fragmente de așchie de lungime 8-10cm. Comparând figurile 4.243 cu 4.246 se vede că în cazul unui avans de 0,22 mm/rot creșterea vitezei de așchiere de la 100 la 180 m/min produce exact contrariul celor arătate anterior, și anume modificarea formei așchiilor de la niște fragmente de așchie la o formațiune încălțită de așchie. În urma celor prezentate putem concluziona că pentru scula CC650 regimul de așchiere care conduce la o așchie fragmentată, singura ce poate fi acceptată ca favorabilă din punct de vedere al volumului așchiei și siguranței operatorului de pe mașina-unealtă este $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm.

În cazul sculei din nitrură cubică de bor policristalină se obțin forme ale așchiei ceva mai bune pentru regimul de așchiere $V_c=180$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm.

În cele ce urmează s-a încercat o analiză a influenței uzurii sculei asupra formei așchiilor rezultate în procesul de așchiere a oțelului 100Cr6 cu diferite materiale de sculă.

În figura 4.247 este prezentată influența uzurii sculei CB7020 asupra formei așchiilor pentru următorul regim de așchiere: $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm.

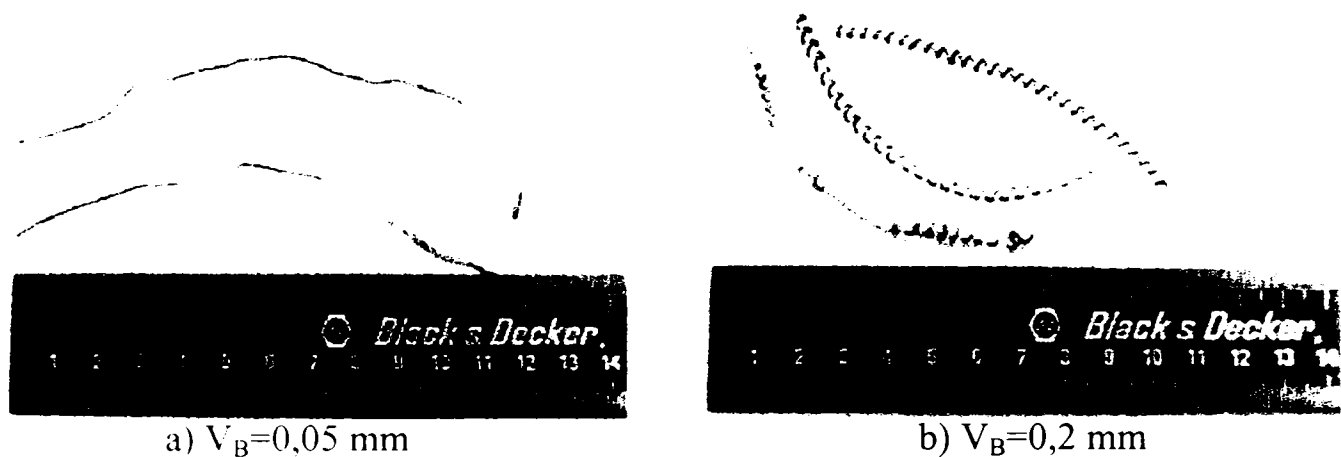


Figura 4.247. Influența uzurii asupra formei așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu scula CB7020 cu regimul de așchiere $V_c=100$ m/min, $f_n=0,22$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm

În figura 4.247 se observă că o creștere a uzurii V_B pe fața de așezare tinde să modifice forma așchiilor de la forma de așchie continuă deosebit de periculoasă pentru operator la fragmente de așchie de 8-10 cm de formă spiralată. Cu alte cuvinte pentru acest regim de așchiere și pentru scula analizată se pare că o creștere a uzurii V_B tinde să îmbunătățească forma așchiei.

Influența uzurii V_B asupra formei așchiilor pentru scula CC650 este prezentată în figura 4.248 pentru regimul de așchiere $V_c=100$ m/min, $f_n=0,08$ mm/rot și $a_p=0,15$ mm.

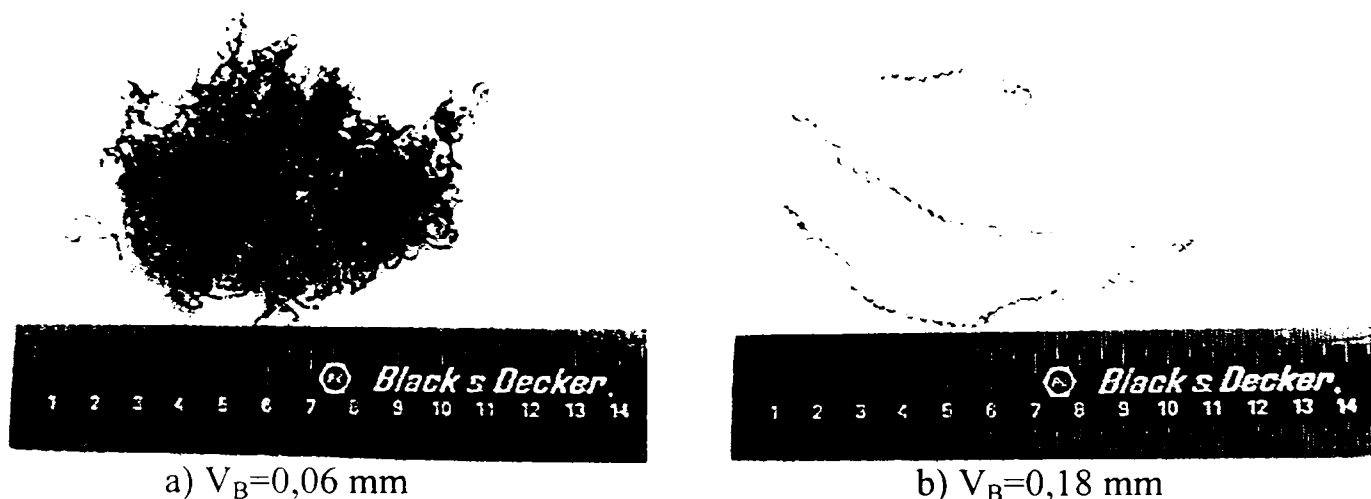


Figura 4.248. Influența uzurii asupra formei așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu scula CB7020 cu regimul de așchiere $V_c=100$ m/min, $f_n=0,08$ mm/rot și $a_p=0,15$ mm

În acest caz se vede că la o creștere a uzurii V_B pe fața de așezare de la $V_B=0,06$ mm la $V_B=0,18$ mm are loc o modificare evidentă a formei așchiilor. Dacă la o uzură redusă a sculei așchietoare pe fața de așezare așchiile rezultă încâlcite, la o uzură de $V_B=0,18$ mm se obțin fragmente de așchie de 13-15 cm.

În figura 4.249 este prezentată influența uzurii V_B asupra formei așchiilor în cazul utilizării sculei CC670 la strunjirea oțelului 100Cr6 cu regimul de așchiere $V_c=100$ m/min, $f_n=0.14$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm.

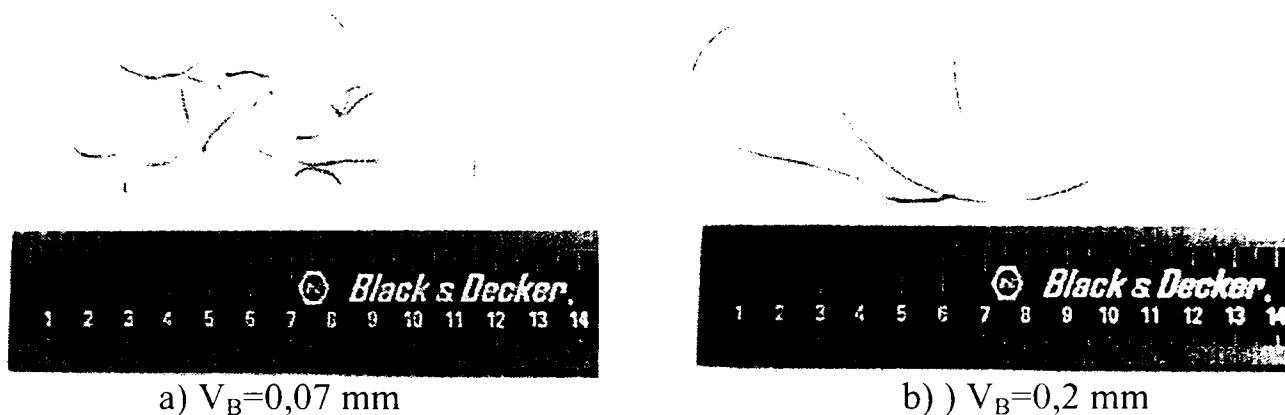


Figura 4.249. Influența uzurii asupra formei așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu scula CC670 cu regimul de așchiere $V_c=100$ m/min, $f_n=0,14$ mm/rot și $a_p=0,25$ mm

În această situație se vede că la o uzură $V_B=0.07$ mm se obțin așchii sub forma unor fragmente de bandă netedă ușor spiralate, iar odată cu creșterea uzurii la $V_B=0,2$ mm așchia devine o panglică netedă continuă, fiind foarte periculoasă pentru siguranța operatorului de pe mașina-unealtă.

Concluzii

- În urma rezultatelor prezentate se poate trage concluzia că pentru regimurile de așchiere studiate și pentru materialele de sculă utilizate este evidentă influența parametrilor regimului de așchiere respectiv viteza și avansul de așchiere asupra formei așchiilor. Nu se poate face însă o ierarhizare a influenței exercitate de fiecare din acești doi parametri asupra formei așchiilor.
- În ceea ce privește influența uzurii V_B , dacă pentru scula CB7020 și CC650 se poate aprecia că o creștere a uzurii V_B poate avea un efect benefic asupra formei așchiilor nu același lucru se poate spune pentru scula CC670.

5. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE ALE AUTORULUI

Prin tematica sa lucrarea de față se înscrie pe linia preocupărilor legate de optimizarea unor procese tehnologice . În această lucrare este studiat un proces tehnologic de strunjire în stare dură a unui oțel de rulmenți cu duritatea 60-62 HRC în vederea înlocuirii operației de rectificare cu cea de strunjire în stare dură. Făcând o analiză a rezultatelor înregistrate în urma experimetărilor efectuate se pot trage următoarele concluzii:

1. Atunci când a fost analizată influența parametrilor regimului de așchiere asupra funcției obiectiv DURABILITATE la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC s-a constatat că valoarea maximă pentru funcția obiectiv DURABILITATE a fost obținută în general pentru valori minime ale variabilelor independente V_c , f_n și a_p .

2. În cazul primului experiment s-a putut constata că influența adâncimii de așchiere atât asupra DURABILITĂȚII cât și asupra RUGOZITĂȚII este mai mică în raport cu influența vitezei și avansului de așchiere.

4. Pentru primul set de experimente valorile optime atât pentru funcția obiectiv DURABILITATE cât și pentru funcția obiectiv RUGOZITATE s-au obținut cu următorul regim de așchiere:

$$V_{c_{opt.}}=70-110 \text{ m/min,}$$

$$f_{n_{opt.}}=0,06-0,07 \text{ mm/rot,}$$

$$a_{p_{opt.}}= 0,1-0,15 \text{ mm.}$$

5. Pentru cel de-al doilea set de experimente s-a văzut că ponderea influenței avansului de așchiere asupra funcției obiectiv DURABILITATE a fost relativ apropiată de ponderea influenței vitezei de așchiere prezentând un ușor avantaj în favoarea avansului de așchiere pentru sculele CC670, CC650 și CB7020. Pentru scula DBN45 se vede că influența vitezei de așchiere asupra funcției obiectiv DURABILITATE are o oarecare preponderență.

6. Pentru toate materialele de sculă utilizate este vizibilă tendința de scădere a durabilității sculei odată cu creșterea vitezei sau avansului de așchiere.

7. În ceea ce privește materialul sculei s-a constatat că sculele din nitrură cubică de bor. CB7020 și DBN45 s-au dovedit a fi cele mai performante înregistrând durabilități de $T=169$ min și respectiv $T=160$ min. Dintre sculele ceramice, scula CC650 s-a dovedit a fi

superioară din punct de vedere al durabilității, sculei CC670 prezentând o durabilitate $T=136$ min față de numai $T=36$ min pentru scula CC670.

8. Dacă se analizează funcția obiectiv RUGOZITATE în cazul celui de-al doilea experiment se poate aprecia că avansul de așchiere are o influență asupra acestei funcții obiectiv, care depășește influența vitezei de așchiere. Odată cu creșterea valorii avansului de așchiere s-a observat că indiferent de materialul sculei utilizate, are loc o creștere a rugozității R_a , a suprafeței așchiate.

9. Din punct de vedere al performanțelor realizate cu fiecare material de sculă împarte, se poate aprecia că cea mai bună valoare a rugozității suprafeței așchiate $R_a=0,49\mu\text{m}$ s-a realizat cu scula DBN45, urmată de scula CC650, $R_a=0,63\mu\text{m}$. Suprafețele așchiate cu sculele CC650 și CB7020 au prezentat practic aceeași valoare a rugozității R_a ($R_a=0,83\mu\text{m}$ pentru CB7020 și $R_a=0,85\mu\text{m}$ pentru CC650).

10. Regimul de așchiere care s-a dovedit a fi optim atât pentru funcția obiectiv DURABILITATE cât și pentru funcția obiectiv RUGOZITATE pentru toate cele patru materiale de sculă utilizate în cadrul celui de-al doilea experiment este :

$$V_{c_{opt.}}=100-120 \text{ m/min,}$$

$$f_{n_{opt.}}=0,06-0,092 \text{ mm/rot}$$

$$a_{p_{opt.}}=0,1-0,15 \text{ mm.}$$

11. În subcapitolul 4.3 au fost prezentate formele de uzură în funcție de parametrii regimului de așchiere atât pentru cazul primului experiment cât și pentru cel de-al doilea. Pentru primul experiment s-a observat că o creștere a vitezei de așchiere conduce la o accelerare a fenomenului de uzură la fel ca și creșterea avansului de așchiere. Atât pentru avansuri mari cât și pentru avansuri mici există o tendință de uzură pe fața de degajare prin exfoliere de straturi succesive. Analizându-se uzura pe fața de așezare, s-a constatat că dacă la avansuri mici uzura are o formă relativ regulată, odată cu creșterea avansului de așchiere se produc ciobituri în materialul sculei datorită vibrațiilor ce iau naștere în procesul de așchiere. Acest lucru are loc datorită creșterii avansului coroborat cu fragilitatea ridicată a acestor materiale de sculă.

12. Uzura atât pe fața de degajare cât și pe fața de așezare a sculei păstrează o formă regulată atunci când are loc o variație a adâncimii de așchiere. Craterul de uzură se produce în imediata vecinătate a muchiei așchietoare, producând practic o „reascuțire”

a acesteia. Acest lucru permite obținerea unei valori scăzute pentru rugozitatea R_a , chiar în cazul utilizării unei adâncimi de așchiere $a_p=0,41$ mm când s-a obținut $R_a=0,72$ μm .

13. Durabilitatea sculei este invers proporțională cu oricare din parametrii regimului de așchiere. S-a observat și în acest caz că indiferent de parametrul de așchiere variat, cel mai bun raport între durabilitatea sculei T și uzura V_B pe fața de așezare se obține pentru valorile minime utilizate pentru fiecare parametru al regimului de așchiere.

14. În cazul celui de-al doilea experiment, atunci când s-a folosit un regim de așchiere ce presupune o viteză de așchiere mare ($V_c=180$ m/min) s-a constatat că în special pentru materialele ceramice uzura de adeziune joacă un rol important. Acest lucru a fost confirmat de cantitatea de metal topit aflată în craterul de uzură, care denotă că în timpul procesului de așchiere s-a atins o temperatură suficient de mare care să declanșeze fenomenul de uzură prin adeziune. Același fenomen a fost vizibil și în cazul sculei CB7020. Uzura sculei DBN45 a prezentat o formă regulată atât pe fața de degajare cât și pe fața de așezare. Lățimea craterului de uzură în acest caz nu a depășit lățimea fațetei.

15. Atunci când s-a folosit regimul de așchiere cu $V_c=100$ m/min, $f_n=0,06$ mm/rot și $a_p= 0,25$ mm, s-a constatat că uzura de adeziune joacă un rol important în cazul materialului de sculă CC650 la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC. Pentru celelalte trei materiale de sculă CC670, CB7020 și DBN45 s-a putut observa că uzura prin abraziune constituie mecanismul dominant de uzură pe fața de așezare a sculei.

16. Dacă se urmărește influența materialului sculei asupra rugozității suprafeței așchiate se poate distinge un ușor avantaj în favoarea sculelor DBN45 și DBC50, lucru ce vine să confirme faptul că sculele din NCBP cu un conținut mai redus de NCB (cca. 50%) sunt recomandate pentru prelucrări de finisare ale oțelurilor cu duritate de peste 45 HRC.

17. Referitor la abaterea de la circularitate s-a constatat că indiferent de scula așchietoare utilizată, parametrul regimului de așchiere care a influențat în mod decisiv abaterea de la circularitate a fost avansul de așchiere. Coroborat și cu rezultatele obținute în ceea ce privește rugozitatea suprafețelor așchiate R_a , putem spune că singurul factor care afectează precizia de prelucrare la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, într-un mod evident, este avansul de așchiere.

18. Materialul de sculă cu care s-au obținut cele mai mici abateri de la circularitate a fost CB7020, urmat fiind de scula DBN45. Scula DBC50 care este tot o sculă pe bază

de nitrură cubică de bor policristalină, a realizat rezultate apropiate de scula ceramică CC650. Cele mai slabe rezultate s-au obținut cu scula CC670. Faptul că sculele din nitrură cubică de bor policristalină au înregistrat rezultate mai bune în ceea ce privește precizia de prelucrare se datorează faptului că având o duritate și o rezistență a tăișului sculei mai mare decât ceramicile, păstrează pentru o perioadă de timp mai îndelungată muchia așchietoare intactă, permițând în acest fel obținerea unei precizii dimensionale superioare. Un alt aspect ce poate explica superioritatea sculelor din NCBP, este dat de conductibilitatea termică mai mare a acestor materiale de sculă care permite disiparea căldurii din zona de așchiere într-un timp mai scurt. În acest fel riscul de formării muchiei așchietoare datorită fenomenelor termice este mult scăzut.

19. Făcând o analiză din punct de vedere al influenței parametrilor regimului de așchiere și a materialului sculei asupra temperaturii dezvoltate în zona de așchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, s-a constatat că indiferent de materialul de sculă utilizat influența vitezei de așchiere asupra temperaturii din zona de contact sculă-piesă este mai mare decât influența avansului de așchiere.

20. S-a constatat că în general materialele de sculă din nitrură cubică de bor policristalină înregistrează temperaturi mai scăzute în zona de contact sculă-piesă decât ceramicile tocmai datorită unei conductibilități termice superioare.

La strunjirea cu scula CB7020 au fost înregistrate cele mai scăzute temperaturi în zona de așchiere datorită faptului că acest material de sculă are probabil o conductibilitate termică superioară celorlalte patru materiale de sculă folosite. Acest lucru concordă cu rezultatele obținute cu privire la abaterea de la circularitate unde, de asemenea scula CB7020 a prezentat cele mai bune performanțe.

21. În urma rezultatelor înregistrate, privitoare la modificările structurale din stratul de suprafață, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, s-a constatat că prezența stratului alb în stratul superficial este influențată de viteza de așchiere. În cazul când s-a lucrat cu viteze de așchiere de 180 m/min a fost sesizată apariția stratului alb pentru toate cele cinci materiale de sculă utilizate. Nu același lucru s-a întâmplat atunci când s-a lucrat cu viteza de 100 m/min. Explicația ar putea fi dată de faptul că, așa cum s-a văzut în subcapitolul 4.5, viteza de așchiere influențează într-o măsură mai mare temperatura în zona de așchiere decât avansul sau adâncimea de așchiere. Cu alte cuvinte odată cu creșterea vitezei de așchiere crește și temperatura în zona de contact sculă-piesă,

care poate atinge la un moment dat temperatura de austenitizare pentru materialul semifabricatului generând astfel apariția stratului alb în suprafața așchiată.

22. În urma analizei rezultatelor obținute cu privire la forma așchiilor se poate trage concluzia că atât viteza cât și avansul de așchiere au o influență evidentă asupra formei așchiilor, fiind însă greu de cuantificat influența fiecăruia dintre acești doi parametri asupra formei așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC.

Contribuții originale ale autorului

Contribuțiile privind metodologia și mijloacele de cercetare sunt redată în cele ce urmează. Dată fiind complexitatea proceselor și fenomenelor care se manifestă în cazul strunjirii oțelurilor cu duritate mare, cercetările au fost gândite a se desfășura pe mai multe etape.

Într-o primă etapă a fost conceput modul de proiectare și analiză al experimentelor ce urmau a fi efectuate. Ținând cont de faptul că scopul principal al tezei de doctorat este optimizarea unui proces tehnologic de prelucrare în stare dură a oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC, strategia de optimizare a fost gândită în conformitate cu cele menționate în capitolul 1, și anume prin eliminarea unei operații cu consumuri energetice și de timp mari, cum este cazul operației de rectificare. Pentru a fi posibil acest lucru însă este necesar ca operația care tinde să o înlocuiască pe precedentă să ofere avantaje evidente. Cu alte cuvinte pentru ca operația de strunjire în stare dură să poată înlocui rectificarea trebuie ca avantajele oferite de strunjirea în stare dură să fie foarte bine puse în lumină. Literatura de specialitate prezintă avantajul operației de strunjire față de operația de rectificare din punct de vedere al productivității, al consumurilor energetice și de timp. Problema care se pune în continuare este de a face posibil ca utilizând scule așchietoare cu geometrie definită de ultimă generație, pe bază de nitrură cubică de bor policristalină și materiale ceramice să fie obținută prin operația de strunjire o calitate a suprafeței și o precizie dimensională comparabile cu cele obținute la rectificare. Deoarece avantajele de ordin economic sunt evident în favoarea operației de strunjire este necesar ca rezultatele obținute cu această operație din punct de vedere al calității și preciziei dimensionale a suprafeței așchiate să fie comparabile cu cele obținute la operația de rectificare.

Pentru a obține în cazul strunjirii în stare dură o calitate și o precizie dimensională comparabile cu cele obținute prin rectificare este necesar să se facă o analiză a procesului după cum urmează:

- analiza durabilității sculei așchietoare ca și funcție obiectiv în vederea optimizării ei, din punct de vedere al influenței parametrilor regimului de așchiere și al materialului sculei așchietoare, la strunjirea oțelului de rulmenți 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC.
- analiza rugozității suprafeței așchiate ca și funcție obiectiv în vederea optimizării ei, din punct de vedere al influenței parametrilor regimului de așchiere și al materialului sculei așchietoare, la strunjirea oțelului de rulmenți 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC. Cu alte cuvinte s-a urmărit care sunt condițiile de așchiere și materialele de sculă care conferă condițiile obținerii unei durabilități maxime ale sculei așchietoare și a unei rugozități minime a suprafeței așchiate.
- analiza preciziei dimensionale obținute la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC în funcție de mai multe tipuri de materiale de sculă așchietoare (ceramice, nitrură cubică de bor policristalină) și de viteza și avansul de așchiere.
- studierea fenomenului de uzură a sculelor așchietoare în funcție de materialul de sculă utilizat (două tipuri de scule ceramice și două tipuri de scule din nitrură cubică de bor policristalină-NCBP) și funcție de viteza și avansul de așchiere, la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC. Este bine cunoscut faptul că o uzură redusă implică o durabilitate mare a sculei și o microgeometrie bună a suprafeței prelucrate, și prin urmare intersează regimurile de așchiere și materialele de sculă care conduc la o uzură cât mai mică.
- studierea modului în care este influențată temperatura din zona de așchiere de către parametrii regimului de așchiere și materialul sculei așchietoare, dat fiind faptul că fenomenele termice din zona de așchiere afectează atât durabilitatea sculei cât și calitatea și precizia dimensională a suprafeței așchiate,
- analiza modificărilor ce apar în statul de suprafață așchiat în funcție de parametrii regimului de așchiere și de materialului sculei așchietoare.

- analiza formei așchiilor rezultate la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC pentru diferite regimuri de așchiere și materiale de sculă

Analiza DURABILITĂȚII sculei și a RUGOZITĂȚII suprafeței așchiate ca și funcții obiectiv s-a făcut apelându-se la conceptul suprafeței de răspuns deoarece se dorea optimizarea lor. Pe baza rezultatelor experimentale obținute și a analizei regresionale s-au obținut modele matematice originale pentru funcția obiectiv Durabilitate și Rugozitate în funcție de parametrii regimului de așchiere pentru mai multe tipuri de materiale de sculă așchietoare folosite. Au fost determinate suprafețele de răspuns și zonele de optim pentru funcțiile Durabilitate și Rugozitate. S-au stabilit de asemenea care sunt regimurile de așchiere care conduc la obținerea unei Durabilități și Rugozități optime.

Cercetările în legătură cu precizia dimensională au pus în evidență care sunt parametrii regimului de așchiere care influențează în mod decisiv precizia dimensională și care din materialele de sculă utilizate se comportă cel mai bine din punct de vedere al preciziei dimensionale a suprafeței așchiate.

Studiul fenomenului de uzură a permis determinarea formelor uzurii, a evoluției uzurii și a durabilității plăcuțelor așchietoare din materiale ceramice (CC670 și CC650) și din nitrură cubică de bor policristalină (CB7020, DBN45), precum și stabilirea unor corelații între evoluția uzurii, variația unor parametrii ai regimului de așchiere și rugozitatea suprafețelor așchiate.

Cercetările referitoare la fenomenele termice din zona de așchiere la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC au permis stabilirea unei corelații între temperatura din zona de așchiere, parametrii regimului de așchiere, materialul sculei așchietoare utilizate și precizia dimensională a suprafeței așchiate.

Analiza modificărilor din stratul de suprafață a pus în evidență care din parametrii regimului de așchiere este responsabil într-o mai mare măsură de apariția acestor modificări ale stratului de suprafață.

Analiza formei așchiilor a încercat stabilirea influenței pe care o exercită parametrii regimului de așchiere asupra formei așchiilor la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC.

Efectuarea experimentelor a necesitat o serie de utilaje, echipamente de măsură și control, scule așchietoare care au fost prezentate pe larg în cadrul capitolului 3. La prelucrarea rezultatelor obținute experimental s-a folosit un program specializat de

achiziționare și interpretare a rezultatelor STATGRAPHICS, care a permis obținerea unor relații matematice de dependență precise și reprezentări grafice sugestive și de înaltă acuratețe.

Sugestii de continuare a cercetărilor viitoare

Pe parcursul elaborării acestei lucrări am constatat că eventualele cercetări viitoare ar putea fi canalizate pe următoarele direcții:

- Studiul prelucrării oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC și prin alte procedee de așchiere decât strunjirea.
- Studiul așchierii întrerupte a oțelului 100Cr6 cu duritatea peste 45 HRC și realizarea unei comparații între performanțele diferitelor scule ceramice și din nitrură cubică de bor.
- Investigarea temperaturii din zona de așchiere la strunjirea unor oțeluri cu duritate mare, utilizând pe lângă termografie și alte metode de determinare a temperaturii cum sunt termocuplele, pulberile cu punct constant de topire și realizarea unei modelării a temperaturii la nivelul muchiei sculei așchietoare.
- Analiza modului în care poate fi optimizată geometria sculei în vederea îmbunătățirii durabilității sculei și a rugozității suprafeței așchiate la strunjirea oțelurilor cu duritate de peste 45 HRC.

Cu siguranță că lista prezentată mai sus poate fi completată cu alte direcții de cercetare a așchierii oțelurilor cu duritate mare dacă dotarea o permite.

BIBLIOGRAFIE

1. Abrao, A.M., Aspinwall, D.K., Wise, M.L.H. – A review of polycrystalline cubic boron nitride cutting tools developments and applications, Proceedings of the 30th MATADOR Conference, 1993, Manchester, U.K.
2. Abrao, A.M., Aspinwall, D.K., Wise, M.L.H. – Tool life and workpiece surface integrity evaluations when machining hardened AISI H13 and AISI E 52100 steels with conventional ceramics and PCBN tool materials, Society of Manufacturing Engineers, May 24-26, 1995, Houghton, Michigan, USA.
3. Abrao, A.M., Aspinwall, D.K., - The surface integrity of turned and ground hardened bearing steel, *Wear*, 196, pg.: 279-284, 1996.
4. Abrao, A.M., Aspinwall, D.K. – Tool wear of polycrystalline cubic boron nitride and ceramic materials when hard turning bearing steel, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, vol. XXI, No.1, pg. 1-9, 1999.
5. Abrao, A.M., Aspinwall, D.K., Ng, E.G. – Temperature evaluation when machining hardened hot work die steel using PCBN tooling, *Industrial Diamond Review*, V/56, pg. 40-44, 1996.
6. Adjunta, J.E., Deming, M.S. and Ratliff, D.A. – A study on the performance characteristics of a polycrystalline CBN composite cutting tool material, *High Speed Machining: Solutions for Productivity*, Proceedings of the SCTE'89 Conference, San Diego, California: 81-88, 1989.
7. Almond, E.A. – Towards improved tests based on fundamental properties, *Proceedings of the International Conference on Towards Improved Performance of Tool Materials*, The National Physical Laboratory and The Metals Society, pg.: 161-169, April 28-29, 1981, Teddington, Middlesex, U.K.
8. Aspinwall, D. K., Tunstall, M. And Hammerton, R. – Cutting tool life comparisons, *Proceedings of the 25th International Machine Tool Design and Research Conference*, 269-275, 1985.
9. Aspinwall, D.K., Dewes, R.C., Mantle, A.L., Ng, E.G. – High speed milling of advanced aerospace alloys and hardened mould/die steels , *Machine Tool Technology association*, 16-18 Nov. 1995, Manchester.

10. Baldoni, J.G. and Buljan, S.T., - Ceramics for machining – American Ceramic Society Bulletin, 67(2) :381-387,1988.
11. Benga, G., Popovici, V., Stanimir, A. – Influența uzurii asupra forțelor de așchiere la strunjirea oțelului H12F1, Revista de Tehnologii Neconvenționale, editura „Augusta”, nr.1/1999.
12. Benga, G., Popovici, V. – Aspects regarding the wear of cubic boron nitride tools, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Transaction on Mechanics, tom 42(56), pg. 196-202, 1997.
13. Benga, G., Popovici, V. – Peculiarities of the Single-Crystal diamond cutting tools used in machining process, Buletinul Științific al Universității „Politehnica „ din Timișoara, Transaction on Mechanics, tom 44(58), pg. 173-180, 1999.
14. Benga, G., Stanimir, A. – Aspecte legate de uzura și durabilitatea sculelor din materiale ceramice, Analele Universității din Craiova, Seria Colegiu, pg. 92-97, 1999.
15. Benga, G., Popovici, V. – The wear behavior of cubic boron nitride and ceramic cutting tools, Buletinul Științific al Universității „Politehnica „ din Timișoara. Transaction on Mechanics, tom 45(59), pg. 235-242, 2000
16. Benga, G., Abrao, A.M. – Tool life and surface roughness evaluation when machining 100Cr6 bearing steel, Congresso Brasileiro de Engenharia Mecanica, Rio de Janeiro, Brazil, 2001.
17. Benga, G., Abrao, A.M., - Turning of hardened 100Cr6 bearing steel with ceramic and PCBN cutting tools , Proceedings of the international Conference on Advanced Materials Processing Technologies – AMPT’01, Volume III, pg. 1879-1886, Leganes, Madrid, Spain, September 2001.
18. Benga, G., Popovici, V., Abrao, A.M., Ciolacu, F. – Aspects concerning the optimisation of the machining of 100Cr6 hardened steel 62-64 HRC using PCBN cutting tools, Revista de tehnologii neconvenționale Nr. 1/2001.
19. Benga Gabriel – Influence of wear on the cutting force when turning H12F1 hardened steel 62-64 HRC, Buletinul Științific al Universității „Politehnica „ din Timișoara, Transaction on Mechanics, tom 44(58), 1999.

20. Bhattacharyya, S.K., Aspinwall, D.K. and Nicol, A.W. – The application of polycrystalline compacts for ferrous machining, Proceedings of the 19th International Machine Tool design and Research Conference, pg. 425-434, 1978.
21. Binns, J. – Ceramic cutter performance on rough turning and hogging cuts, ASME, page nr. 633, pg.: 1-15, 1963.
22. Boim, N.G, Sokolov, I.N. – The use of super hard materials and ceramic cutting tools in machine tool constructions, Stanki i Instrument, vol 55, Issue 7, 1984.
23. Boothroyd, G. – Fundamentals of metal machining and machine tools, Scripta Book Co., Washington, D.C., 1975.
24. Bordui, D. – Hard part machining with ceramic inserts, American Ceramic Society Bulletin, 67(6), pg.: 998-1001, 1988.
25. Bossom, P.K. – Finish machining of hard ferrous workpieces, Industrial Diamond Review, 5(90): 228-232, 1990.
26. Bowker. A.H. și Lieberman. G.J. – Engineering statistics, IInd Edition, Prentice-Hall, 1972, Englewood Cliffs, New Jersey.
27. Box. G.E.P. și Wilson. K.G. – On the experimental attainment of optimum conditions, Journal of the Royal Statistical Society, B, vol. 13, pg. : 1-45, 1951.
28. Box. G.E.P. și Hunter, J.S. – Multifactor experimental designs for exploring response surfaces, Annals of Mathematical Statistics, vol 28, pg.: 195-242.
29. Box, G.E.P., - Sequential Experimentation and Sequential Assembly of Designs, Quality Engineering, Vol. 5, No. 2, pg. 321-330, 1993.
30. Brinskmeier, E., Cammet, J.T., Konig, W., Leskovar, P., Peters, J. și Tonshoff, H.K. – Residual stress – Measurement and causes in machining process, Annals of the CIRP, vol 31(2), pg.: 491-510, 1982.
31. Brookes, C. A., - The mechanical properties of cubic boron nitride – a perspective view, I^{ind} International Conference Science Hard Materials, Rhodes, 1986.
32. Brookes., K.J.A. – Hard and superhard tools are a cut above the rest, Metalworking, Production, Oct.:92-104, 1986.
33. Buljan, S.T. and Sarin, V.K. – The future of silicon nitride cutting tools, The Carbide and Tool Journal, 17 (3): 4-7, 1985.
34. Buljan, S.T. and Sarin, V.K. – Improved productivity through application of silicon nitride cutting tools, The Carbide and Tool Journal, 17 (3), 1985.

35. Chao, B.T. and Trigger, K.J. – Temperature distribution at the tool-chip interface in metal cutting, *Transaction of the ASME*, 80, pg.: 311-320, 1955.
36. Chen, Wuyi – The machining of grey cast iron and hardened steel using superhard tooling, MPhil thesis, School of Manufacturing and Mechanical Engineering, University of Birmingham, U.K., 1990.
37. Chen, W. – The machining of hardened steels using superhard CBN cutting tooling and CBN tipped rotary cutting tools, PhD thesis, University of Birmingham, 1993, U.K.
38. Chen Wuyi – Cutting forces and surface finish when machining medium hardness steel using CBN tools, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 40(2000), pg. 455-466, 2000.
39. Chou, Y.K., Evans, C.J. – White layers and thermal modeling of hard turned surfaces, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 39(1999), 1863-1881.
40. Cicală, E.F. – Metode de prelucrare statistică a datelor experimentale, editura „Politehnica”, Timișoara, 1999.
41. Collier, G. – Four times faster than grinding, *Machine Tool Blue Book*, 82(3), pg.:52-54, 1987.
42. Cornell, J.A. – Experiments with mixtures: designs, models and the analysis of mixture data, IInd Edition, Wiley, 1990, New York.
43. Cother, N.E. and Hodgson, P. – The development of SIALON ceramics and their engineering application, *Trans. J.Br. Ceram, Soc.*, 81:141-144, 1982.
44. Crooks, A.G., Jong, A și Wong, W.C.K. – Effect of machining parameters on CBN tool tip temperature, 4th Int. Conf. On Manufacturing Engineering, pg. 33-36, 1988, Brisbane, Australia.
45. De Vries, R.C., - Cubic boron nitride: handbook of properties, Technical Information Series, nr. 72CR178, General Electric Company, Corporate Research and Development, Schenectady, NY, New York, USA, 1972.
46. Dewes, R.C., Abrao, A.M., Aspinwall, D.K. – The effects of tool/workpiece interface temperature on tool wear and cutting performance when turning and high speed milling hardened steel using PCBN and conventional ceramic tooling,

- European Conference on Advances in Hard Materials Production (PM 96), pg.: 479-486, 1996, Stockholm, Sweden.
47. Ealey, A.L. – Les methodes Taguchi dans l'industrie occidentale, Les Editions d'Organisation, 1990, Paris.
48. Enache. Șt. – Tehnologia sculelor așchietoare, Ed. Tehnică.
49. Evans, A.G. – High toughness ceramics, Materials Science and Engineering, A 105/106:65-75, 1988.
50. Ezugwu, E.O. and Wallbank, J. – Manufacture and properties of ceramic cutting tools : a review – Materials Science and Technology, 3:881-887, 1987.
51. Feng, S. – An investigation in CBN to HBN reversion of CBN turning tools in dry cutting. Tool Engineering, pg.:25-27, 1980.
52. Field. M., Kahles, J.F. și Cammet, J.T. – A review of measuring methods for surface integrity, Annals of the CIRP, 21(2), pg.: 219-238, 1972.
53. Gane, N., Stephens, L.W. – The wear and fracture resistance of ceramic cutting tools, Wear, vol. 88, pg. 66-83, 1983.
54. Gavrițaș. I., Drăguț, E., Vieru, A., Bonoiu, V. – Tehnologii de prelucrare cu scule din materiale dure și extradure, E.T., București, 1977.
55. GE, Superabrasives – Polycrystalline products for machining applications, GES, 91-96, 1991.
56. Grearson, A.N. and Jack, D.H – The significance of ceramic tool materials in the pursuit of productivity – Proceedings of the 1st International Machine Tool Conference: 211-220, Iunie 1984, Birmingham, U.K.
57. Griffiths, B.J., - White layer formations at machined surfaces and their relationship to white layer formations at worn surfaces, Transaction of the ASME, Journal of Tribology, 107, pg. 165-171, 1985.
58. Gruss, W.W., - Turning of steel with ceramic cutting tools, Tool Materials for High Speed Machining, 105-115, Feb. 1987, Scottsdale, Arizona, USA, ASM International.
59. Heath, P. – Structure, properties and applications of polycrystalline cubic boron nitride, SME and 14th NAMRAC, pg.: 66-80, May, 1986, Minnesota, USA.
60. Heath, P.J. și Dodsworth, J. – Brazeable PCBN inserts for machining hardened steels and irons, South African Machine Tool Review, 20 (3), pg.: 4-10, 1987.

61. Hepworth, M.A. – Nonoxide engineering ceramics, Manufacturing Technology, 1991.
62. Hitchiner, M.P. and Wilks, J. – Wear, 93 (63), 1987.
63. Hooper, R. M., Shakib, J.I., Parry, A. and Brookes, C.A. – Mechanical properties, microstructure, and wear of DBC 50, Industrial Diamond Review, 4(89): 170-173.
64. Hooper, R.M. și Brookes, C.A. – Microstructure and wear of cubic boron nitride aggregate tools, IInd International Conference Science Hard Materials, pg 907-917, Rhodes, 1984.
65. Hunter, J.S. – Statistical design applied to product design, Lournal of Quality Technology, vol. 17, pg.: 210-221.
66. Ipatov, N.S. – The effectiveness of super-hard material toolsin machining „difficult” metals and alloys, Soviet Engineering Research, 4(7): 63-66, 1984.
67. Jack, D.H., - Ceramic cutting tool materials, Materials & Design, 7(5): 267-273, 1986.
68. Julean, D., Kerekeş, L. – Cercetarea comportării la uzură a plăcuțelor mineralo-ceramice de fabricație indigenă, Constr. de Mașini (146), pg. 101-105, nr.1-2/1994.
69. Karyuk, G.G. – Technological features of machining using polycrystalline super hard material tools, Naukova Dumka, Kiev, 1991.
70. Kinshawy, H.A., Elbestawi, M.A. – Effects of process parameters on material side flow during hard turning, International Journal of Machine Tools & Manufacture, V39, pg.:1017-1030, 1999.
71. Klimenko, S.A., Mukovoz, Y.U., Polonsky, L.G. –Advanced ceramic tools for machining applications, Key Engineering Materials, vol 114, Zurich, 1996.
72. Klimenko. S.A., Mukovoz, Yu.A., Lyashko, L.A., Vashchenko, A.N. and Ogorodnik, V.V. – Wear, 157(1), 1992.
73. Komanduri, R. – Advanced ceramic tool materials for machining, International Journal of Refractory and Hard Materials, 8(2): 125-132, 1989.
74. Komanduri, R. – Some aspects of machining wuth negative rake tools simulating grinding, International Journal of Machine Tools, pg.: 223-233, 1971.
75. Konig, W., Komanduri, R., Tonshoff, H.K., Ackershott, G. - Machining of hard Materials – Annals of the CIRP, vol 39, pg. 417/427, 1990.

76. Konig, W., Klinger, M., Link, R. – Machining hard materials with geometrically defined cutting edges, Field of Applications and Limitations, Annals of the CIRP, vol. 39/1/1990.
77. Konig, W., Wand, Th. – Turning bearing steel with Ambrorite and ceramics, Industrial Diamond Review, 3(87), pg.: 117-20.
78. Konig, W., Berktold, A., Koch, K.F. – Turning versus grinding –A comparison of surface Integrity aspects and attainable accuracies, Annals of the CIRP, vol. 42/1/1993.
79. Kramer, B.M. – Annals of the CIRP, 35 (87), 1986.
80. Kruth, P., Stevens, L., Froyen, L., Lauwers, B. – Study of the white layer of a surface machined by die-steel electro-discharge machining, Annals of the CIRP 44(1), pg. 169-172, 1995.
81. Lange, F.F., - Transformation toughening, part 4: fabrication, fracture toughness and strength of $Al_2O_3+ZrO_2$ composites, Journal of Materials Science, 17, 247-254, 1982.
82. Leshchiner, Y.A., Svirinsky, R.M. and Ilyin, V.V. – Cutting tools of superhard materials, Tekhnika, Kiev, 1981.
83. Liu, C.R. și Barash, M.M. – Variables governing patterns of mechanical residual stress in a machined surface, Journal of Engineering for Industry (Transaction of the ASME), 104, pg. 257-264, 1982.
84. Loladze, T.N. – Strength and wear resistance of cutting tools, Mashinostroyenie, Moscow, 1982.
85. Matsumoto, C.R., Liu, C.R., Barash, M.M., - Residual stress in the machined surface of hardened steel, High Speed Machining Confernce, ASME, WAM, pg. 193-204, 1984.
86. Merchant, M.E. – Mechanics of the metal cutting process International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1982.
87. Mihail, R. – Introducere în strategia experimentării cu aplicații în tehnologia chimică. Ed. Științifică și Enciclopedică, 1976, București.
88. Minciu, C., Predinca, N. – Bazele așchierii și generării suprafețelor, 1984. I.P. București.

89. Montgomery, D.C. – Design and analysis of experiments – Fifth edition, JohnWiley & Sons, USA, 2001.
90. Montgomery, D.C. – Experimental design for product and process design and development, Journal of the Royal Statistical Society, D, vol. 48, pg.: 159-177, 1999.
91. Myers. R.H. și Montgomery, D.C. – Response surface methodology process and product optimization using designed experiments, Wiley, 1995, New York.
92. Nakai, T., Goto, Z. and Nakatani, S. – Cutting performance of PCBN and PCD for P/M parts , Modern Developments in Powder Metallurgy, (19): 379-393, Orlando, Florida, USA, 1988.
93. Nakai, T., Goto, M., Yazu, S. And Hara, A. – Development of very tough CBN compacts, Sumitomo Electric Technical Review, 27:197-203, 1988.
94. Nakai,T., Nakatani, S., Tomita, K. and Goto, M. – Hard Turning by PCBN – Superabrasives 1991 (Proceedings Conferences), SME: 1161-1175,1991, Chicago, IL, USA.
95. Nakayama, K., Arai, M. and Kanda, T. – Machining characteristics of hard materials, Annals of the CIRP, 37(1) pg.: 89-92, 1988.
96. Nanu, A., Popovici, V., Carțiș, I. – Studium der gefugeanderungen in der oberflaschenschichte von anoden-mechanisch bearbeiten manganhaltigem austenitstahl, Buletinul Științific și Tehnic, Baza Acad. Timișoara, tom I, Cercetări de metalurgie și Sudură, 1970
97. Narutaki, N. and Yamane, Y. – Tool wear and cutting temperature of CBN tools in machining of hardened steels, Annals of the CIRP, 28(1), pg: 23-28, 1979.
98. Neailey, K. – Surface integrity of machined components/microstructural aspects, Metals and Materials, pg. 93-96, 1988.
99. Nichici, A., Cicală, E.F. și Mee. R. – Prelucrarea datelor experimentale – curs și aplicații, Litografia Universității „Politehnica” Timișoara, 1996.
100. Notter, A.T. and Heath, P.J. – Machining of hard ferrous materials with Amborite, De Beers Industrial Diamond Division, Technical Service Centre, pg. 6-13, 1980, Ascot, England.
101. Oprean, A., Sandu, Gh., Minciu, C., Deacu, L., Giurgiuman, H., Oancea, N. – Bazele aşchierii și generării suprafețelor, Ed. did. și ped., 1981, București.

102. Picoș, C., Coman, Gh., Slătineanu, N., Grănescu, T. – Prelucrabilitatea prin aşchiere a materialelor feroase , E.T., 1981, Bucureşti.
103. Popescu, I. – Teoria aşchierii, Reprografia Univ. Craiova, 1994.
104. Popescu, I – Optimizarea procesului de aşchiere, Editura „Scrisul Românesc”, 1987, Craiova.
105. Popovici, V., Benga, G. – Studies on cutting forces and cutting temperature when using CBN cutting tools, Buletinul Ştiinţific şi Tehnic al Univ.”Politehnica” din Timişoara. Transaction on Mechanics, tom 43(57), pg.: 201-208, 1998.47
106. Popovici, V., Benga, G. – Ceramic cutting tools used in machining process, Buletinul Ştiinţific şi tehnic al Universităţii „Politehnica „ din Timişoara. Transaction on Mechanics, tom 42(56), pg. 196-202, 1997.
107. Popovici, V., Benga, G. – Aspects regarding the cutting process when are used polycrystalline diamond cutting tools, Buletinul Ştiinţific al Universităţii „Politehnica „ din Timişoara, Transaction on Mechanics, tom 44(58), pg. 239-246, 1999.
108. Popovici, V., Benga, G. – Considerations regarding recent developments in cutting tool materials, Buletinul Ştiinţific al Universităţii „Politehnica „ din Timişoara, Transaction on Mechanics, tom 45(59), pg. 251-260, 2000
109. Popovici, V., ş.a.- Studiul modificărilor structurale în stratul de suprafaţă la oţelurile debitate prin electroeroziune, Buletinul Ştiinţific şi Tehnic al I.P. Timişoara. tom 12(26), fasc 1. 1967.
110. Rai, G. – The metallurgy of CBN and its wear in high speed machining of ferrous materials, Machining of Advanced Materials, (Proc. Conf.):501-514, July, 1993, Gaithersburg, Maryland, USA, NIST Special Publication 847.
111. Saint Chely, J., Fantine, J.P., Letellier, J. – Choix des outils e des conditions de coupe en tournage, CETIM, 1987.
112. Shaw, M.C. – Energy Conversion in cutting and Grinding, Annals of the CIRP, vol 45/1/1996.
113. Shaw, M.C., Vyas, A. – Heat affected zones in grinding steel, Annals of the CIRP, vol. 43/1/1994, pg.: 279-282.
114. Shaw, M.C., Vyas, A. – Heat affected zones in grinding steel, Annals of the CIRP, 43(1), pg. 279-282, 1994.

115. Shintani, K., Ueki, M. Și Fujimura, Yu. – Optimum tool geometry of CBN tool for continuous turning of carburized steel, *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 29(3), pg: 403-413, 1989.
116. Smith, K.H., - The application of whisker reinforced and phase transformation toughened materials in machining of hardened steels and nickel-based alloys, *High Speed Machining: Solutions for Productivity, Proceedings of the SCTE 1989 Conference, San Diego, California:81-88, 1989.*
117. Snoeys, R., Moris, M., Peters, J. – Thermally induced damage in grinding, *Annals of the CIRP* 27(2), pg. 571-578, 1978.
118. Sreejith, P.S., Ngoi, B.K.A. – Dry machining: Machining of the future, *Journal of Materials Processing Technology*, pg.: 287-291, vol.101, 2000.
119. Stanimir, A., Benga, G. – Cercetări privind influența durității materialului prelucrat asupra forțelor de așchiere la strunjire, *Conferința Internațională TEHNO-MAN, Timișoara, 1995.*
120. Stanimir, Alex. – Așchiera oțelurilor cu duritate de peste 60 HRC – Cercetări teoretice și experimentale, *Editura Universitaria, 1997.*
121. Stanimir, A., Benga, G., Calbureanu, M. – Principalele direcții de acțiune în vederea creșterii preciziei de prelucrare prin strunjire a oțelurilor cu duritate mare *Analele Universității „Constantin Brâncuși”, Tg. Jiu, Seria A, nr. 2/1995*
122. Stanimir, A., Benga, G., Calbureanu, M. – Strunjirea oțelurilor cu duritate ridicată – o variantă posibilă de înlocuire a operației de rectificare. *Analele Universității din Craiova, Seria Colegiu, pg. 98-105, 1999.*
123. Stanimir. A., Mazilu, D., Târpe, Gh., Roșca, A.S., Benga, G. – Considerații asupra avantajelor economice și condițiile de aplicare a strunjirii materialelor dure – Simpozion „Zilele Universitare Severinene” - Tr. Severin, 1994
124. Stevens, R and Evans, P.A. – Transformation toughening by dispersed polycrystalline zirconia, *Br. Ceramic Trans. J.*, 83: 28-31,1984.
125. Stier, H. – The rewards and demands of hard part turning, *Modern Machine Shop*, 60(11), pg.: 88-94, 1988.
126. Tabuchi, N., Hara, A., Zayu, C., Kono, Y., Asai, K., Tsuji, K., Nakatani, S., Uchida, T., and Mori, Y. – Performance of „Sumiboron BN 200” , *Sumitomo Electric Technical Review*, 18 : 57-65, 1978.

127. Takatsu, S., Shimoda, H., Otani, K. – Effects of CBN content on the cutting performance of polycrystalline CBN tools, *International Journal of Refractory and Hard Materials*; V2: 175-178, 1983.
128. Takatsu, S. – Recent developments in hard cutting tool materials, *High Temperature processes*, V 9, pg.:175-193, 1992.
129. Taloi, D., Florian, E., Bratu, C., Berceanu, E. – Optimizarea proceselor metalurgice, Ed. Didactică și Pedagogică, 1983, București.
130. Teodorescu, M. ș.a. – Prelucrabilitatea prin așchiere. Metode de determinare, Universitatea din Galați, 1986.
131. Tonshoff, H.K. and Bartsch, S – Machining of steels and cast irons using silicon nitride tools, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 28(4), pg. 353-359, 1989.
132. Tonshoff, H.K. și Brinskmeier, E. – Determination of mechanical and thermal influences on machined surfaces by microhardness and residual stress analysis, *Annals of the CIRP*, 29(2), pg.: 519-530, 1980.
133. Tonshoff, H.K., Wobsker, G., Brandt, D. – Hard turning: influences on the workpiece properties, *Transaction of the NAMRI of SMF* 23, pg. 215-220, 1995.
134. Trent, E. M., - *Metal Cutting*, 3rd edition, Butterworths & Co. Ltd., London, 245, 1984.
135. Trigger, K.J. and Chao, B.T. – An analytical evaluation of metal-cutting temperatures, *Transaction of the ASME*, 53, pg.: 57-68, 1951.
136. Usui, E. – The principles of cutting and grinding, *Machining Industry Process*, 1982.
137. Văduva, I., - *Analiză dispersională*, Ed. Tehnică, București, 1970.
138. Vel, L., Demazeau, G. and Etourneau, J. – Cubic boron nitride: synthesis, physicochemical properties and applications , *Materials, Science and Engineering*, B10: 149-164, 1991.
139. Vinogradov, A.A. - *Soviet Journal of superhard Materials*, 1984, 10(4), 58.
140. Watson, D.W. – Surface integrity in turning high strength NCMV steel, *Technical Memorandum*, C.A. Parsons & Co. Ltd., 1976, Newcastle, U.K.
141. Watson, D.W. și Murphy, M.C. –The effect of machining on surface integrity, *The Metallurgist and Materials Technologist*, pg.: 199-204, 1979.

142. Whitney, E.D. and Vaidyanathan, P.N. – Microstructural engineering of ceramic cutting tools, American Ceramic Society Bulletin, 67 (6): 1010-1014, 1988.
143. Winner, B.J. – Statistical principles in experimental design, IInd edition, Mc Graw –Hill, New York, 1971.
144. Xie, Q., Bayoumi, E and Kendall, L.A. – On tool wear and its effect on machined surface integrity, Lournal of Materials Shaping Technology, vol. 8, pg.: 255-265, 1990.
145. Xie, Q., Bayoumi, A., Kendall, L.A. și Sheldon, G.L. – A study on residual stresses and tool wear induced by machining processes, Transaction of the North American Manufacturing Research Institution of SME 1989, pg.: 170-174 , May, 1989, Columbus, Ohio, USA.
146. Xin, Y. – The influence of cutting atmosphere on the wear of CBN turning tool Elbor-R, Tool Engineering, 5, pg.:25-27, 1980.
147. *** - Catalog De Beers Industrial Diamond Division, DBC50, 1997.
148. *** - Coupe des metaux: evolutionde nitrures cubique de bor polycristallins en tournage et en fraisage, MACH'PRO: 23-27, 14 mai 1993.
149. *** - SPK Cerasiv – Wurbon, p6, 1988.
150. *** Catalog „Fiat”, 2000.
151. *** Catalog de scule aşchietoare Sandvik Coromant, 1999.

Dicționar de acronime și notații

HRC - duritate Rockwell,

HV - duritate Vickers,

MU - mașină-unealtă.

MUDSP- sistemul tehnologic mașină-unealtă-dispozitiv-sculă-piesă

NCB - nitrură cubică de bor,

NCBP - nitrură cubică de bor policristalină,

NHB - nitrură hexagonală de bor

NRB - nitrură romboedrală de bor,

OTM - overtempered layer (strat suprarevenit)

SEM - scanning electronic measurement (microscop electronic),

UTM - untempered layer (strat nerevenit).

WBN - wurtzit,

WRA - whikers reinforced alumina (ceramice ranforsate cu fibre de SiC),

a_p - adâncimea de așchiere,

F_c - componenta principală a forței de așchiere

F_{calc} - criteriul Fisher calculat ca raport dintre dispersia de concordanță și dispersia reproductibilității,

F_f - componenta axială a forței de așchiere,

f_n - avansul de așchiere

F_p - componenta radială a forței de așchiere,

F_{tab} - criteriul Fisher din tabele,

R^2 - coeficient care exprimă precizia de estimare a modelului regresional adoptat

V_c - viteza de așchiere.

$P=1-\alpha$ - nivel de încredere,

α - prag de semnificație,

ν_1 - numărul gradelor de libertate cu care se calculează dispersia de concordanță.

ν_2 - numărul gradelor de libertate cu care se calculează dispersia de reproductibilitate,

CUPRINS

Prefață	3
Introducere	6
Capitolul 1. Considerații cu privire la așchiera oțelurilor cu duritatea peste 45HRC	9
1.1. Generalități	9
1.2. Aspecte cu privire la necesitatea optimizării unui proces tehnologic clasic de prelucrare prin așchiere a oțelurilor cu duritate ridicată	9
1.3. Tipuri de materiale de sculă utilizate la așchiera oțelurilor cu duritatea peste 45 HRC	14
1.3.1. Materiale ceramice folosite la prelucrarea prin așchiere a oțelurilor cu duritatea mai mare de 45 HRC	14
1.3.2. Nitrura cubică de bor	20
1.4. Caracteristicile oțelurilor cu duritate mare	36
1.4.1. Forțele de așchiere	36
1.4.2. Aspecte legate de fenomene termice ce însoțesc procesul de așchiere	39
1.4.3. Uzura și durabilitatea sculelor din materiale ceramice și nitrură cubică de bor	43
1.4.4. Considerații asupra integrității suprafeței așchiate cu scule din materiale dure și extradure	56
1.4.5. Cerințe impuse sistemului tehnologic MUDSP	63
1.4.6. Concluzii	64
1.4.7. Obiectivele cercetărilor întreprinse în teza de doctorat	65
Capitolul 2. Analiza statistică a experimentelor	67
2.1. Generalități	67
2.2. Strategii de experimentare	68
2.3. Metode de analiză statistică	72
Capitolul 3. Cercetări experimentale	79

3.1. Metode de cercetare utilizate în vederea realizării experimentelor	79
3.2. Materialul aşchiat	88
3.3. Materiale de sculă utilizate	88
3.4. Maşini-unelte şi echipamente folosite în cadrul experimentelor	90
3.5. Concluzii	96
Capitolul 4. Rezultatele experimentale cu privire la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC	97
4.1. Cercetări privind influenţa parametrilor regimului de aşchiere asupra durabilităţii sculei şi rugozităţii suprafeţei aşchiate din 100Cr6 cu scule din materiale ceramice-CC650	97
4.2. Cercetări privind influenţa vitezei şi avansului de aşchiere asupra durabilităţii sculei şi a rugozităţii suprafeţei aşchiate din 100Cr6 cu scule din materiale ceramice şi nitrură cubică de bor policristalină	113
4.3. Cercetări privind uzura şi durabilitatea sculelor aşchietoare în funcţie de parametrii regimului de aşchiere şi de materialul sculei aşchietoare la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC	153
4.4. Cercetări privind influenţa parametrilor regimului de aşchiere şi a materialului sculei asupra preciziei de prelucrare	196
4.5. Cercetări privind influenţa parametrilor regimului de aşchiere şi a materialului sculei asupra temperaturii din zona de aşchiere	243
4.6. Cercetări privind modificările stratului de suprafaţă în funcţie de parametrii regimului de aşchiere şi a materialului sculei la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu diferite materiale de sculă	277
4.7. Cercetări privind analiza formei aşchiilor	285
Capitolul 5. Concluzii şi contribuţii originale ale autorului	294
Bibliografie	302
Dicţionar de acronime şi notaţii	314
Cuprins	315
Anexe	317

ANEXE

A.1. Valorile critice ale criteriului (raportului) F_{α, v_1, v_2} ; $\alpha=0,05$

v_1 =număr grade de libertate ale numărătorului

v_2 =număr grade de libertate ale numitorului

v_2	v_1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234	236,8	238,9	240,5	241,9
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27	2,22
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24	2,19
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16

Certificado de Qualidade

EXECUÇÃO DE TRATAMENTO TÉRMICO

quality certificate of heat treatment

Nº

CLIENTE

customer

UFMS UNIVERSIDADE FEDERAL

MATERIAL

material

20 TUBOS
Material : 100 Cr
Peso Total : 75,00

TRATAMENTO TÉRMICO SOLICITADO / ESPECIFICAÇÕES

specifications

TEMPERAR : 250
Dureza 607 HRC

RESULTADOS

results

DUREZA OBTIDA 607 HRC

DOCUMENTOS DE SUPORTE

support documents

CERTIFICAÇÃO

certification

FOI EXECUTADO O TRATAMENTO TÉRMICO DE:

TEMPERA e REVENIMENTO

EM CONFORMIDADE COM AS NORMAS DO MATERIAL EM REFERÊNCIA.

Contagem, 20/09/2008
LOCAL E DATA

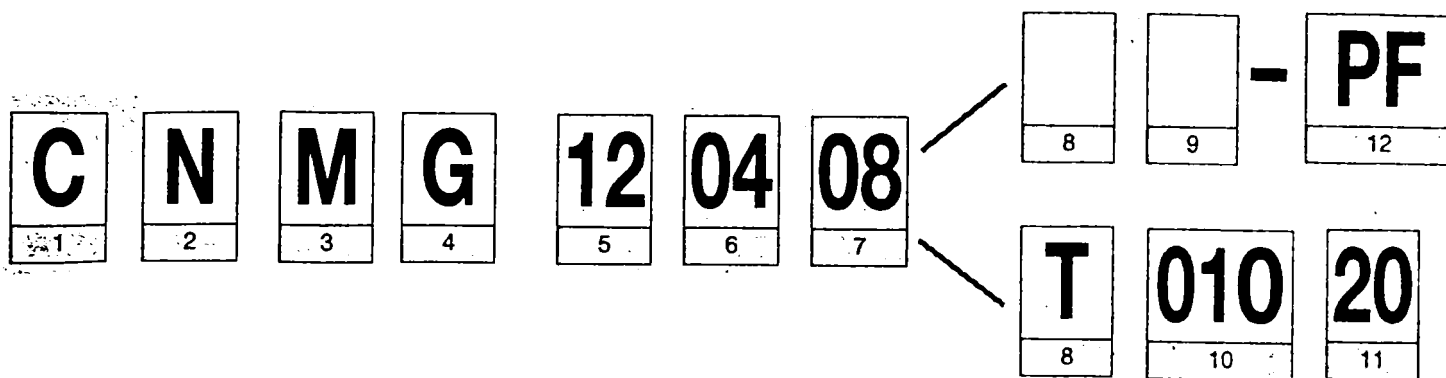
EXECUÇÃO
Sociedade S. Brasil

José Carlos
RESP. TÉCNICO
Rua S. Brasil - CEP 13750-000
Contagem - MG - CEP 13750-000

TRATERMINAS TRATAMENTO TÉRMICO LTDA.

Rua Thomaz Jefferson, 703 - Jardim Industrial - CONTAGEM - MG - CEP 32215-290 - Telefax: (31) 333-8363
CNPJ: 01.028.420/0001-49 - INSC. EST.: 186.957.959 0063 - e-mail: traterminas@uol.com.br - site: www.uol.com.br/~traterminas

A. 3. Sistemul de codificare al plăcuțelor așchietoare pentru operația de strunjire conform ISO 1832-1991



1 Insert shape

80° C	55° D
55° K	R
S	T
35° V	80° W

2 Insert clearance angle

B 5°	C 7°
E 20°	N 0°
P 11°	O Specific description

3 Tolerances ± on s and iC/iW

Class s	iC / iW
G	±0,025
M ±0,13	±0,08 - ±0,25 ¹⁾
U	±0,08 - ±0,25 ¹⁾

¹⁾Varies depending on the size of iC. See below.

Inscribed circle iC mm	Tolerance class	
	M	U
3,97 5,0 5,56 6,0 6,35 8,0 9,525 10,0	±0,05	±0,08
12, ⁿ 12,7	±0,08	±0,13
15,875 16, ⁿ 19,05 20,0	±0,1	±0,18
25,0 25,4	±0,13	±0,25
31,75 32,0	±0,15	±0,25

For positive inserts iC is valid for a sharp corner. See cutting edge condition F. (Picture 8).

5 Insert size = cutting edge length, / mm

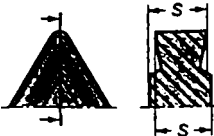
iC mm	iC Inch	C	D	R	S	T	V	W	K
3,97	5/32"			05		06			
5,0				06		09			
5,56	7/32"			06		09			
6,0				08		11	11		
6,35	1/4"	06	07	09	09	16	16	06	16 ¹⁾
8,0		09	11	10					
9,525	3/8"			12		22	22	08	
10,0				15		27			
12,0				16		33			
12,7	1/2"	12	15	20	12				
15,875	5/8"	16		25	15				
16,0				25					
19,05	3/4"	19		31	19				
20,0				32					
25,0		25			25				
25,4	1"								
31,75									
32									

¹⁾ For insert shape K (KNMX, KNUX) only the theoretical cutting edge length is indicated.

4 Insert type


A	M
G	R
N	W
T	X
	Special design

6 Insert thickness, s mm






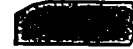

01	$s = 1,59$
T1	$s = 1,98$
02	$s = 2,38$
03	$s = 3,18$
T3	$s = 3,97$
04	$s = 4,77$
05	$s = 5,56$
06	$s = 6,35$
07	$s = 7,94$
09	$s = 9,52$
10	$s = 10,00$
12	$s = 12,00$

7 Nose radius, r_e mm

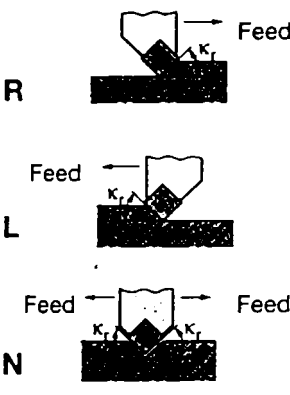


M0, 00	$r_e = \text{Round insert}$
04	$r_e = 0,4$
08	$r_e = 0,8$
12	$r_e = 1,2$
16	$r_e = 1,6$
24	$r_e = 2,4$

8 Cutting edge condition

F		Sharp cutting edge
E		ER treated cutting edge
T		Negative land
K		Double negative lands
S		Negative land and ER treated cutting edge

9 Hand of tool




R: Right Hand tool, Feed to the right, cutting angle κ_r .

L: Left Hand tool, Feed to the left, cutting angle κ_r .


N: Normal tool, Feed in both directions, cutting angle κ_r .

10 Chamfer width, mm



010	$b_{\gamma n} = 0,10$
025	$b_{\gamma n} = 0,25$
0.0	$b_{\gamma n} = 0,70$
150	$b_{\gamma n} = 1,50$
200	$b_{\gamma n} = 2,00$

11 Chamfer angle



15	$\gamma n = 15^\circ$
20	$\gamma n = 20^\circ$

12 Manufacturer's option

The ISO code consists of nine symbols including 8 and 9 which are used only when required. In addition the manufacturer may add further two symbols e. g.

- PF = ISO P Finishing.
- PR = ISO P Roughing.

A.4. Valorile înregistrate pentru durabilitatea sculei T în funcție de uzura pe fața de așezare V_B la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC pentru diferite regimuri de așchiere utilizând mai multe materiale de sculă

Tabelul A.4.1. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei așchietoare cu uzura pe fața de așezare V_B la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 pentru diferite viteze de așchiere, cu $f_n=0,15$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=70$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=210$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	1,43	0,05	3,15	0,05	0,1
0,1	26,34	0,1	6,25	0,1	0,15
0,15	35,06	0,15	11,04	0,15	0,2
0,2	42,46	0,2	11,37	0,2	0,28

Tabelul A.4.2. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei așchietoare cu uzura pe fața de așezare V_B la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 pentru diferite avansuri de așchiere, cu $V_c=140$ m/min, $a_p=0,25$ mm

$f_n=0,02$ mm/rot		$f_n=0,15$ mm/rot		$f_n=0,28$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	6,3	0,05	3,15	0,05	0,04
0,1	12,56	0,1	6,25	0,1	0,08
0,15	36,02	0,15	11,04	0,15	0,11
0,2	65,12	0,2	11,37	0,2	0,14

Tabelul A.4.3. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 pentru diferite adâncimi de aşchiere, cu $V_c=140$ m/min, $f_n=0,15$ mm/rot

$a_p=0,1$ mm		$a_p=0,25$ mm		$a_p=0,41$ mm	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	1,08	0,05	3,15	0,05	0,11
0,1	6,4	0,1	6,25	0,1	0,26
0,15	31,57	0,15	11,04	0,15	1,48
0,2	46,44	0,2	11,37	0,2	2,7

Tabelul A.4.4. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC670 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	4,18	0,05	2	0,05	0,8
0,1	12,41	0,1	8	0,1	1,53
0,15	28,57	0,15	13,49	0,15	9,08
0,2	42,9	0,2	19,29	0,2	17,4

Tabelul A.4.5. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC670 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	2,2	0,05	0,8	0,05	0,17
0,1	8,42	0,1	1,15	0,1	0,34
0,15	12,45	0,15	4,47	0,15	0,51
0,2	16,01	0,2	6,3	0,2	0,69

Tabelul A.4.6. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC670 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	0,5	0,05	0,305	0,05	0,041
0,1	3,18	0,1	0,61	0,1	0,083
0,15	7,51	0,15	0,915	0,15	0,126
0,2	12,38	0,2	0,2	0,2	0,17

Tabelul A.4.7. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC670 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu $V_c= 100$ m/min, $a_p= 0,25$ mm

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	4,18	0,05	2,2	0,05	0,5
0,1	12,41	0,1	8,42	0,1	3,18
0,15	28,57	0,15	12,45	0,15	7,51
0,2	42,9	0,2	16,01	0,2	12,38

Tabelul A.4.8. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC670 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu $V_c= 140$ m/min, $a_p= 0,25$ m

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	2	0,05	0,8	0,05	0,305
0,1	8	0,1	1,15	0,1	0,61
0,15	13,49	0,15	4,47	0,15	0,915
0,2	19,29	0,2	6,3	0,2	0,2

Tabelul A.4.9. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC670 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu $V_c=180$ m/min, $a_p=0,25$ m

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	0,8	0,05	0,17	0,05	0,041
0,1	1,53	0,1	0,34	0,1	0,083
0,15	9,08	0,15	0,51	0,15	0,126
0,2	17,4	0,2	0,69	0,2	0,17

Tabelul A.4.10. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	2,53	0,05	2,25	0,05	1,39
0,1	17,32	0,1	9,39	0,1	10,3
0,15	71,66	0,15	25,72	0,15	21,76
0,2	162,7	0,2	40,2	0,2	38,76

Tabelul A.4.11. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	6,83	0,05	0,06	0,05	0,08
0,1	20,06	0,1	0,12	0,1	0,16
0,15	56,84	0,15	0,18	0,15	0,24
0,2	69,52	0,2	0,24	0,2	0,32

Tabelul A.4.12. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchiitoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Vc=100 m/min		Vc=140 m/min		Vc=180m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	0,57	0,05	0,055	0,05	0,024
0,1	9,45	0,1	0,11	0,1	0,048
0,15	15,47	0,15	0,165	0,15	0,072
0,2	21,5	0,2	0,22	0,2	0,096

Tabelul A.4.13. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchiitoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu Vc= 100 m/min, $a_p= 0,25$ mm

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	2,53	0,05	6,83	0,05	0,57
0,1	17,32	0,1	20,06	0,1	9,45
0,15	71,66	0,15	56,84	0,15	15,47
0,2	162,7	0,2	69,52	0,2	21,5

Tabelul A.4.14. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchiitoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu Vc= 140 m/min, $a_p= 0,25$ m

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	2,25	0,05	0,06	0,05	0,055
0,1	9,39	0,1	0,12	0,1	0,11
0,15	25,72	0,15	0,18	0,15	0,165
0,2	40,2	0,2	0,24	0,2	0,22

Tabelul A.4.15. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CC650 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu $V_c=180$ m/min, $a_p=0,25$ mm

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	1,39	0,05	0,08	0,05	0,024
0,1	10,3	0,1	0,16	0,1	0,048
0,15	21,76	0,15	0,24	0,15	0,072
0,2	38,76	0,2	0,32	0,2	0,096

Tabelul A.4.16. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CB7020 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	12,38	0,05	2,34	0,05	0,6
0,1	52,46	0,1	30,44	0,1	2,42
0,15	173,85	0,15	141,82	0,15	30,1
0,2	190	0,2	160	0,2	64,5

Tabelul A.4.17. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CB7020 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	1,26	0,05	2,2	0,05	1
0,1	23,8	0,1	32	0,1	3,17
0,15	71	0,15	51	0,15	11,5
0,2	73,9	0,2	70	0,2	19,8

Tabelul A.4.18. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchiitoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CB7020 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	0,46	0,05	1,2	0,05	0,61
0,1	16,65	0,1	9,32	0,1	1,23
0,15	54	0,15	28,3	0,15	8,24
0,2	70,39	0,2	37,7	0,2	11,16

Tabelul A.4.19. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchiitoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CB7020 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu $V_c= 100$ m/min, $a_p= 0,25$ mm

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	12,38	0,05	1,26	0,05	0,46
0,1	52,46	0,1	23,8	0,1	16,65
0,15	173,85	0,15	71	0,15	54
0,2	190	0,2	73,9	0,2	70,39

Tabelul A.4.20. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchiitoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CB7020 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu $V_c= 140$ m/min, $a_p= 0,25$ m

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	2,34	0,05	2,2	0,05	1,2
0,1	30,44	0,1	32	0,1	9,32
0,15	141,82	0,15	51	0,15	28,3
0,2	160	0,2	70	0,2	37,7

Tabelul A.4.21. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula CB7020 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu $V_c=180$ m/min, $a_p=0,25$ mm

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	0,6	0,05	1	0,05	0,61
0,1	2,42	0,1	3,17	0,1	1,23
0,15	30,1	0,15	11,5	0,15	8,24
0,2	64,5	0,2	19,8	0,2	11,16

Tabelul A.4.22. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula DBN45 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,06$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	8,42	0,05	6,87	0,05	0,77
0,1	21,57	0,1	18,92	0,1	1,55
0,15	101,44	0,15	35,96	0,15	7,38
0,2	172,74	0,2	55,22	0,2	20

Tabelul A.4.23. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchietoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula DBN45 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,14$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

$V_c=100$ m/min		$V_c=140$ m/min		$V_c=180$ m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	4,8	0,05	3,63	0,05	0,86
0,1	10,18	0,1	7,27	0,1	1,55
0,15	45	0,15	10,38	0,15	1,96
0,2	61	0,2	13,5	0,2	2,38

Tabelul A.4.24. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchiitoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula DBN45 pentru diferite viteze de aşchiere, cu $f_n=0,22$ mm/rot, $a_p=0,25$ mm

Vc=100 m/min		Vc=140 m/min		Vc=180m/min	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	4	0,05	1,29	0,05	0,55
0,1	11,19	0,1	6,14	0,1	1,11
0,15	45,96	0,15	11	0,15	4,05
0,2	51,46	0,2	15,42	0,2	6,29

Tabelul A.4.25. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchiitoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula DBN45 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu Vc= 100 m/min, $a_p= 0,25$ mm

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	8,42	0,05	4,8	0,05	4
0,1	21,57	0,1	10,18	0,1	11,19
0,15	101,44	0,15	45	0,15	45,96
0,2	172,74	0,2	61	0,2	51,46

Tabelul A.4.26. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei aşchiitoare cu uzura pe faţa de aşezare V_B la strunjirea oţelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula DBN45 pentru diferite avansuri de aşchiere, cu Vc= 140 m/min, $a_p= 0,25$ m

$f_n=0,06$ mm/rot		$f_n=0,14$ mm/rot		$f_n=0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	6,87	0,05	3,63	0,05	1,29
0,1	18,92	0,1	7,27	0,1	6,14
0,15	35,96	0,15	10,38	0,15	11
0,2	55,22	0,2	13,5	0,2	15,42

Tabelul A.4.27. Valorile înregistrate pentru durabilitatea T a sculei așchietoare cu uzura pe fața de așezare V_B la strunjirea oțelului 100Cr6 cu duritatea 60-62 HRC cu scula DBN45 pentru diferite avansuri de așchiere, cu $V_c = 180$ m/min, $a_p = 0,25$ mm

$f_n = 0,06$ mm/rot		$f_n = 0,14$ mm/rot		$f_n = 0,22$ mm/rot	
V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]	V_B [mm]	T [min]
0,05	0,77	0,05	0,86	0,05	0,55
0,1	1,55	0,1	1,55	0,1	1,11
0,15	7,38	0,15	1,96	0,15	4,05
0,2	20	0,2	2,38	0,2	6,29