



**UNIVERSITATEA "LUCIAN BLAGA" DIN SIBIU
FACULTATEA DE INGINERIE "HERMANN OBERTH"**

**STUDIUL ABRAZĂRII SCULELOR AȘCHietoARE
DIN CARBURI METALICE DEDICATE
PRELUCRĂRII ALEZAJELOR ADÂNCI**

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător științific:

Prof. univ. dr. ing. Paul Dan BRÎNDAȘU

Doctorand:

ing. Silvia VULC

2016

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE ȘI CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE
UNIVERSITATEA "LUCIAN BLAGA" SIBIU
RECTORATUL UNIVERSITĂȚII
B-DUL VICTORIEI, NR. 10, TEL. 0269217989, SIBIU, ROMÂNIA, 550024

COMPONENTA
COMISIEI DE DOCTORAT

Președinte	Prof. univ. dr. ing. Liviu ROȘCA Universitatea "Lucian Blaga" Sibiu
Conducător științific	Prof. univ. dr. ing. Paul-Dan BRÂNDAȘU Universitatea "Lucian Blaga" Sibiu
Referenți științifici	Prof. univ. dr. ing. Petru BERCE Universitatea Tehnică din Cluj - Napoca
	Prof. univ. dr. ing. Marian BORZAN Universitatea Tehnică din Cluj - Napoca
	Prof. univ. dr. ing. Nicolae COFARU Universitatea "Lucian Blaga" Sibiu

Susținerea publică a tezei de doctorat va avea loc la Universitatea "Lucian Blaga" din Sibiu, Centrul de Reuniune Academică, str. Banatului, nr. 6, sala 11 (parter), în data de 29.04.2016, ora 11.

Prefață

Dezvoltarea industrială, modernizarea continuă a echipamentelor tehnologice, automatizarea și informatizarea sistemelor de fabricație au determinat intensificarea cercetărilor asupra prelucrărilor mecanice.

Ca și cadru didactic în învățământul profesional și tehnic, am fost preocupată de perfecționarea profesională, pentru a putea pregăti specialiști competitivi pe piața muncii. Pentru aceasta, am fost în contact cu mediul industrial, cu cadre didactice din învățământul superior, astfel încât să țin pasul cu noutățile în domeniu și, în același timp, am observat dorința producătorilor din domeniul mecanic, privind optimizarea și perfecționarea proceselor de prelucrare.

Materialele nou apărute și neexplorate îndeajuns, în special carburile metalice, utilizate în fabricarea sculelor așchietoare performante și procesele tehnologice de prelucrare ale acestora necesită o cercetare continuă.

Astfel, prelucrarea prin abrazare nu mai este doar o operație de finisare, ci, este și operația prin care se prelucrează carburile metalice. Complexitatea procesului de abrazare determină un spectru larg de direcții de cercetare.

De aceea, am ales să realizez un studiu al procesului de abrazare a carburilor metalice, cu aplicații la fabricarea burghiilor pentru găuri adânci de diametre reduse, care necesită anumite caracteristici, respectiv, calitatea superioară a suprafețelor active și rezistența la diferite tipuri de uzură.

Datorită conducătorului științific, **domnul prof. univ. dr. ing. Paul-Dan Brîndașu**, am reușit să elaborez prezenta teză de doctorat, care reprezintă rezultatul unei îndrumări competente, de un înalt profesionalism.

Doresc în mod deosebit să îmi exprim considerația și respectul profund pentru modul în care m-a sprijinit, pas cu pas, în realizarea cercetărilor. De asemenea, îi mulțumesc pentru înțelegerea și eleganța cu care m-a ajutat să depășesc anumite probleme apărute de-a lungul derulării programului de cercetare științifică.

Aduc mulțumiri și recunoștință colectivului de cadre didactice din cadrul Facultății de Inginerie pentru competența profesională și implicarea în pregătirea mea în cadrul programului de doctorat, pentru sugestiile și recomandările primite.

Mulțumesc domnilor profesori: **dr. ing. Petru BERCE**, **dr. ing. Marian BORZAN**, **dr. ing. Nicolae COFARU**, care, în calitate de referenți științifici, au avut bunăvoința și răbdarea de a analiza și evalua această lucrare.

Mulțumesc **familiei mele** pentru sprijinul, înțelegerea și răbdarea manifestată pe durata derulării programului de doctorat.

CUPRINS

INTRODUCERE	6
CAPITOLUL 1	
SCURT ISTORIC AL AȘCHIERII. TENDINȚE ACTUALE	10
1.1. Generalități	10
1.2. Evoluția mașinilor-unelte	10
1.3. Evoluția sculelor așchietoare	12
1.4. Evoluția teoriei așchierii	17
CAPITOLUL 2	
STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND PRELUCRAREA PRIN ABRAZARE A CARBURILOR METALICE	19
2.1. Aspecte teoretice privind procesul de abrazare	19
2.1.1. Materiale utilizate în construcția corpurilor abrazive	19
2.1.2. Caracteristicile corpurilor abrazive	21
2.1.3. Alegerea corpurilor abrazive	25
2.1.4. Cinematica procesului de abrazare	29
2.1.5. Forțele de așchiere	30
2.1.6. Aspecte ale procesului de abrazare	37
2.1.7. Regimul de așchiere	40
2.1.8. Mediul de așchiere	41
2.1.9. Vibrațiile	43
2.1.10. Uzura discului abraziv	44
2.1.11. Cantitatea de căldură în procesul de abrazare	45
2.1.11.1. Determinarea cantității de căldură în zona de contact	48
2.1.11.2. Metode de reducere a temperaturii în procesul de abrazare	54
2.2. Cercetări privind procesul de abrazare	57
2.2.1. Cercetări privind prelucrarea prin abrazare a materialelor metalice	57
2.2.2. Cercetări privind discul abraziv	59
2.2.3. Cercetări privind fenomenele care însoțesc procesul de abrazare	70
2.3. Concluzii	74
CAPITOLUL 3 SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI	78
CAPITOLUL 4 MODELAREA PROCESULUI DE ABRAZARE	80
4.1. Generalități – model și modelare	80
4.2. Modelarea proceselor și produselor	83
4.3. Modelarea și simularea procesului de abrazare	84
4.3.1. Modelul interdependenței dintre elementele procesului de abrazare	84
4.4. Modele ale procesului de abrazare	87
4.4.1. Modelarea procesului de prelucrare	87
4.4.2. Modele ale procesului de abrazare	89
4.4.3. Modele empirice	90
4.4.4. Modele analitice	90
4.4.5. Modelare cu elemente finite	98
4.4.6. Aplicații ale simulării procesului	100
4.4.7. Modelare utilizând metode statistice (Analiza Regresiei)	105
4.4.8. Modelare prin rețele artificiale (ANN)	106
4.4.9. Modele bazate pe cunoștințe și sisteme expert (Knowledge based and expert system)	111
4.5. Concluzii privind modelarea procesului de abrazare	115
4.6. Modelarea procesului de abrazare a carbunii DK460UF	117
4.6.1. Prezentarea carbunii DK460UF	117
4.6.2. Problematika abrazării carbunii DK460UF	119
4.6.3. Ierarhizarea factorilor procesului de abrazare utilizând metoda “Triplei Cruci”	120
4.7. Modelarea cu element finit a fluxului de temperatură	130
4.7.1. Calculul fluxului de temperatură și al temperaturii maxime	130
4.7.2. Analiza cu element finit a fluxului de temperatură	135
4.8. Concluzii	141

CAPITOLUL 5 SCULE AȘCHietoARE MONOBLOC PENTRU PRELUCRAREA ALEZAJELOR ADÂNCI DE DIAMETRE MICI	143
5.1. Generalități	143
5.2. Burghie pentru găuri adânci	144
5.2.1. Burghie pentru găuri adânci care așchiază din plin	144
5.3. Materiale pentru confecționarea burghiilor pentru prelucrarea găurilor adânci	147
5.4. Semifabricate utilizate la confecționarea burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici	148
5.4.1. Tipuri de semifabricate din carburi metalice	148
5.5. Mașini unelte cu comandă numerică utilizate la confecționarea și ascuțirea burghiilor pentru găuri adânci	150
5.5.1. ECOFLEX - Centru de rectificat cu 5 axe	150
5.5.2. Sharp Futura CNC5 – 5 axe	151
5.5.3. Proiectarea tehnologiei de execuție a sculelor așchietoare pentru prelucrarea alezajelor	151
5.6. Discurile abrazive	154
5.7. Prelucrarea prin abrazare a carburilor destinate fabricării burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici	160
5.7.1. Factorii care determină structura procesului de abrazare a carburilor destinate fabricării burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici	160
5.7.2. Factorii care exercită influență asupra calității suprafețelor burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici	161
5.7.3. Tehnologia de prelucrare a unui burghiu pentru găuri adânci de diametre mici	163
5.8. Concluzii	169
CAPITOLUL 6 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE ABRAZARE A CARBURILOR METALICE DE TIP DK460UF	170
6.1. Generalități	170
6.2. Proiectarea experimentului	171
6.2.1. Etapele proiectării experimentului	171
6.2.2. Definirea variabilelor experimentului în domeniul de studiu	171
6.2.3. Alegerea nivelelor de variație pentru variabile independente	172
6.2.4. Realizarea planului de experimente	173
6.2.5. Clasificarea experimentelor	173
6.2.5.1. Planuri experimentale	173
6.2.5.2. Experimente factoriale	174
6.2.6. Analiza statistică a datelor experimentale	176
6.2.7. Determinarea modelului matematic al experimentului.....	177
6.2.8. Decizii în urma modelării prin experiment factorial	177
6.2.9. Prezentarea software-ului Design-Expert V7.0.	179
6.3. Proiectarea cercetărilor experimentale în vederea monitorizării procesului de abrazare a carburilor metalice de tip DK460UF	180
6.3.1. Stabilirea factorilor ce vor fi monitorizați	180
6.3.2. Modelul cercetărilor experimentale realizate	181
6.3.3. Stabilirea planului de experimente și nivelurile de variație a factorilor	182
6.4. Studiul forțelor în procesul de abrazare a carburii DK460UF	182
6.4.1. Alegerea tipului de experiment	182
6.4.2. Proiectarea experimentului și realizarea măsurătorilor	183
6.4.3. Construcția matricii – program a experimentării	187
6.4.4. Determinarea modelului matematic al experimentului și analiza lui	187
6.4.5. Variația forțelor în raport cu gradul de uzură al discului abraziv	195
6.4.5.1. Definirea obiectului cercetării	195
6.4.5.2. Alegerea funcției obiectiv	195
6.4.5.3. Planificarea experimentelor și achiziția datelor	195
6.4.6. Concluzii.....	197
6.5. Studiul temperaturii în procesul de abrazare a carburii DK460UF	199
6.5.1. Studiul temperaturii cu ajutorul INFRARED CAMERAS	199

6.5.2. Studiul temperaturii la abrazarea carbunii DK460UF utilizând termocuplul	200
6.5.3. Concluzii	209
6.6. Uzura discului abraziv la prelucrarea carbunii DK460UF	210
6.6.1. Proiectarea experimentului	210
6.6.2. Desfășurarea experimentului	211
6.6.3. Prelucrarea datelor experimentale	214
6.6.4. Concluzii	218
6.7. Măsurarea rugozității suprafeței	219
6.7.1. Definirea obiectului cercetat	219
6.7.2. Proiectarea experimentului	219
6.7.3. Desfășurarea experimentului	221
6.7.4. Variația rugozității în raport cu uzura discului abraziv	231
6.7.5 Concluzii	233
CAPITOLUL 7 CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE	235
7.1. Concluzii generale	235
7.2. Contribuții personale	239
7.3. Direcții de cercetare viitoare	241
BIBLIOGRAFIE	242
ANEXE	255

INTRODUCERE

În cadrul operațiilor de prelucrare prin așchiere, prelucrarea prin abrazare a devenit cea mai utilizată operație de finisare, care reprezintă aproximativ 70% din spectrul prelucrărilor de finisare. Astăzi, după dezvoltarea echipamentelor tehnologice și apariția unor noi materiale, abrazarea nu mai este doar o operație de finisare.

Abrazarea, ca principală operație de prelucrare a carburilor metalice, a devenit un domeniu deschis cercetărilor actuale. Calitatea procesului de prelucrare prin abrazare se reflectă în calitatea suprafețelor obținute, în productivitate și timp de producție, dar și în costuri. Includerea abrazării în spectrul prelucrărilor de bază a impulsionat necesitatea cercetărilor în domeniu. Procesul de abrazare, în ansamblul său, este încă neexplorat suficient.

Factorii care influențează procesul de abrazare sunt numeroși, de aceea optimizarea procesului de abrazare este o problemă în discuție.

Alegerea temei prezentei teze de doctorat a apărut în urma unei ample analize bibliografice a cercetărilor în domeniu, care au abordat la nivel restrâns prelucrarea prin abrazare a carburilor metalice cu conținut ridicat de carbură de wolfram, așa cum este materialul supus studiului, DK460UF, utilizat la confecționarea burghiilor pentru găuri adânci cu diametre mici.

În figura de mai jos se poate vedea analiza SWOT întreprinsă în vederea identificării oportunității studiului.



Fig. 1.1. Analiza SWOT privind oportunitatea studiului procesului de abrazare

Prezenta teză de doctorat abordează, astfel, abrazarea carburilor metalice destinate fabricării burghiilor pentru găuri adânci de diametre reduse. Pe parcursul derulării cercetărilor, principalele preocupări au fost orientate în identificarea parametrilor optimi de prelucrare prin abrazare a carburii metalice DK460UF, în scopul obținerii unei suprafețe cu o precizie dimensională ridicată, cu rugozitate mică și aspect corespunzător (fără oxidări, arsuri).

Lucrarea este structurată pe 7 capitole, prezentate în cele ce urmează:

Capitolul I conține un scurt istoric al mașinilor unelte utilizate la prelucrările prin așchiere, evoluția în timp a mașinilor și sculelor așchietoare, precum și evoluția

materialelor utilizate în construcția sculelor așchietoare și tendințe actuale în fabricarea acestora.

În capitolul al II-lea sunt prezentate aspecte teoretice ale procesului de abrazare (caracteristicile discului abraziv, cinematica procesului de abrazare, regimul de așchiere, forțele de abrazare, uzura discului abraziv) și stadiul actual al cercetărilor efectuate de diverși specialiști privind procesul de abrazare a diferitelor materiale, proprietățile discului abraziv și fenomene care însoțesc procesul de prelucrare prin abrazare.

Capitolul al III-lea conține obiectivele tezei de doctorat și metodele de cercetare utilizate.

Capitolul al IV-lea este consacrat modelării procesului de abrazare. Sunt prezentate generalități privind modelarea proceselor și modele ale procesului de abrazare existente în literatura de specialitate. Tot aici, este abordată problematica procesului de abrazare a carburilor metalice, menționându-se principalele aspecte specifice. Având în vedere multitudinea de factori care influențează calitatea procesului de prelucrare, este necesară o ierarhizare a acestora. Modelele studiate, precum și principalii factori de influență identificați, au constituit bazele realizării unui model general al abraziunii carburilor metalice cu conținut ridicat de WC. Temperatura este un factor important în desfășurarea procesului de abrazare și a obținerii unei calități superioare a suprafețelor prelucrate. Fluxul de temperatură afectează calitatea suprafeței prelucrate. De aceea, a fost necesară elaborarea unui model numeric al fluxului de temperatură pentru a investiga transferul de căldură în zona de contact dintre discul abraziv și suprafața de prelucrat, necesar în realizarea unui studiu comparativ cu cercetările experimentale.

Capitolul al V-lea conține procesul tehnologic de prelucrare prin abrazare pe mașini unelte cu comandă numerică a carburilor metalice în vederea obținerii burghiilor pentru găuri adânci realizate din carburi metalice. În cadrul acestui capitol este prezentat algoritmul de proiectare a procesului tehnologic pentru prelucrarea burghiilor pentru găuri adânci, precum și modul de alegere al sculelor așchietoare din magazia de scule a mașinii unelte, utilizând software-uri specializate pentru proiectarea, vizualizarea și simularea tehnologiei de prelucrare, cum sunt: TOOLdefine, SolidPRO, 3D-Collision.

Capitolul al VI-lea este destinat cercetărilor experimentale. Se prezintă metodologia de realizare a unei cercetări experimentale și programul Design Expert utilizat în determinarea modelelor matematice ale factorilor cercetați, precum și în reprezentarea grafică a variației parametrilor investigați în raport cu variabilele independente considerate. Pentru a avea o imagine de ansamblu asupra investigațiilor care se fac, s-a elaborat un model al cercetărilor experimentale. Se consideră ca variabile independente regimul de așchiere, proprietățile discului abraziv și caracteristicile materialului de prelucrat, iar ca variabile dependente, forța de abrazare, temperatura, uzura discului abraziv și rugozitatea suprafeței prelucrate. S-a stabilit nivelul de variație pentru fiecare parametru al regimului de așchiere și s-au ales discurile abrazive în vederea prelucrării. Pentru fiecare din parametrii de ieșire investigați s-a proiectat experimentul și s-au achiziționat datele necesare modelării matematice a acestora. Analiza modelelor obținute s-a realizat cu ajutorul analizei statistice ANOVA. Concluziile rezultate din analizarea dependenței calității suprafeței prelucrate de elementele de proces considerate au dus la stabilirea parametrilor optimi de prelucrare ai carburii metalice DK460UF, cu un conținut de WC de 91% și 9% Co.

Astfel, pentru studiul forțelor de abrazare, s-au realizat prelucrări pe mașină de rectificat plan, cu două discuri abrazive de diametre diferite, la regimuri de așchiere diferite. Pentru măsurarea componentelor forței de abrazare, forța tangențială și forța normală, s-a utilizat dinamometrul KIESTLER. Acest dinamometru utilizează software DynoWare, care permite înregistrarea valorilor măsurate și exportul de date în Microsoft

EXCEL, unde se pot prelucra aceste date. Valorile obținute s-au utilizat la construcția matricii - program necesară în obținerea modelului matematic.

La măsurarea temperaturii s-a utilizat un termocuplu carbură metalică - cupru, iar ca etalon, un termocuplu de tip K (Chromel - Alumel). A fost utilizat un stand pentru etalonarea termocuplului carbură metalică - cupru. Acest termocuplu a fost apoi utilizat la măsurarea temperaturii în procesul de prelucrare a carburii metalice DK460UF, pe mașina de rectificat plan. Prelucrarea s-a realizat cu regimuri de aşchiere diferite. Pentru vizualizarea intensității fluxului de temperatură în zona de contact, s-a utilizat INFRARED CAMERAS.

Uzura discului abraziv a fost monitorizată la prelucrarea burghiilor pentru găuri adânci de diametre cuprinse între 2.025 și 2.5 mm. Prelucrările s-au realizat cu două discuri abrazive de granulație 46 μm , respectiv, 54 μm . Uzura profilului fiecărui disc abraziv s-a monitorizat pe eşantioane de 100 de repere, în total 1900, până la apariția uzurii catastrofale. Măsurarea uzurii s-a făcut cu ajutorul mașinii de măsurat Walter Helicheck Basic Optical CNC. S-au făcut studii comparative privind variația uzurii discurilor de granulații diferite în raport cu volumul de material îndepărtat. Aceste rezultate au fost utilizate pentru studiul lui G-ratio, parametru care definește eficiența prelucrării prin abrazare.

Măsurarea rugozității s-a realizat cu rugozimetrul MITUTOYO. Prelucrarea probelor s-a realizat pe mașina cu comandă numerică CNC HAWEMAT 3000, cu regimuri de aşchiere diferite, cu discuri abrazive de granulație 46 μm și 54 μm , noi și uzate. Calitatea suprafeței prelucrate a fost studiată prin prisma valorilor rugozității măsurate, iar aspectul suprafețelor a fost examinat cu microscopul electronic, în cadrul Institutului Francez de Mecanică Avansată din Clermont Ferrand, Franța. Au fost puse în evidență defectele determinate de gradul de uzură al discurilor abrazive.

Rezultatele cercetărilor experimentelor au dus la determinarea parametrilor de abrazare caracteristici unui proces de prelucrare optim.

În capitolul al VII-lea sunt arătate concluziile generale aferente întregii cercetări și contribuțiile originale în tratarea și realizarea temei propuse în teza de doctorat, precum și direcții de cercetare viitoare.

1. SCURT ISTORIC AL AȘCHIERII. TENDINȚE ACTUALE

În acest capitol se trec în revistă câteva etape importante din evoluția mașinilor-unelte, a sculelor așchietoare și a materialelor utilizate la fabricarea acestora. Odată cu evoluția mașinilor unelte și a sculelor așchietoare s-a dezvoltat treptat și teoria așchierii.

1.1. Generalități

Evoluția așchierii este legată pe toată durata sa de evoluția sculelor așchietoare și de cea a mașinilor-unelte, inter-influența ducând la progres în toate cele trei domenii, o dezvoltare în unul, ducând automat la progres în celelalte.

1.2. Evoluția mașinilor-unelte

Mașinile unelte au parcurs o perioadă îndelungată de-a lungul evoluției lor, de la strungul cu batiu de lemn până la mașinile cu comandă numerică.



Strung cu batiul din lemn [72]



Strung care funcționează cu ajutorul pedalelor [72]



Strung apropiat de cel al zilelor noastre [72]



Strung de ultimă generație [72]

Fig. 1.1. Evoluția strungului

1.3. Evoluția sculelor așchietoare

Scula așchietoare este o parte a sistemului tehnologic, care în funcție de cinematica mașinii unelte, realizează divizarea adaosului de prelucrare și îndepărtarea lui sub formă de așchii în vederea obținerii formei, dimensiunii, netezimii suprafețelor piesei.

Unelte primitive erau realizate integral din piatră cioplită, utilizând diverse tehnici, obținând unghiuri de așchiere diferite.



Fig. 1.2. Unelte primitive [228]

Sculele aşchietoare s-au dezvoltat alături de maşinile unelte, fiind astăzi, scule performante cu tăişuri fragmentate din carburi metalice, de cele mai multe ori, formate din plăcuţe amovibile.

În figura 1.3. se poate urmări evoluţia sculei aşchietoare cu cele mai importante etape ale dezvoltării sale.

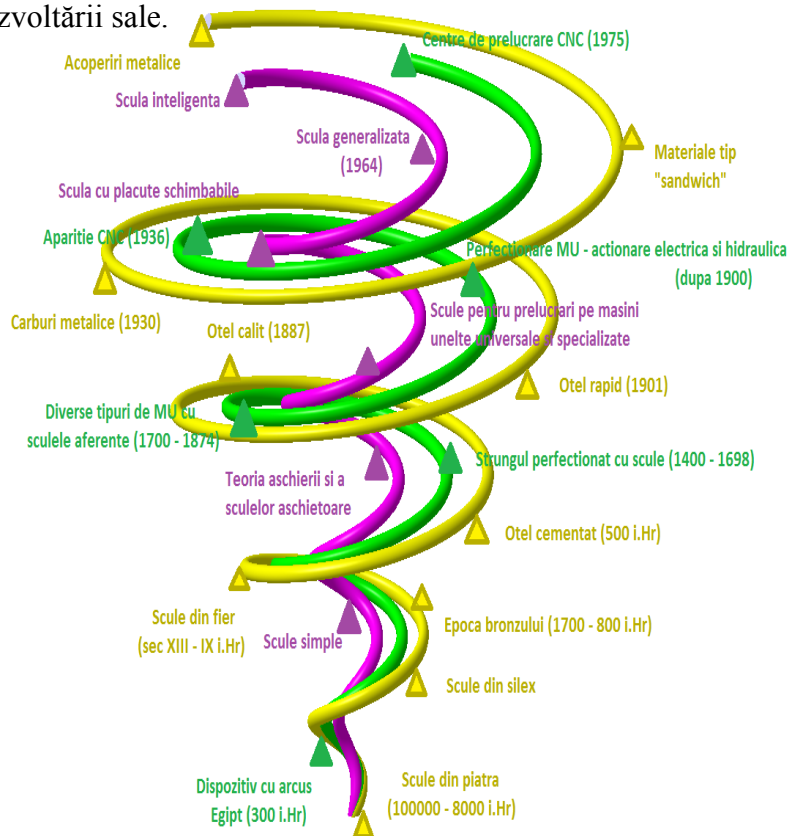


Fig. 1.3. Evoluția sculei aşchietoare și etape ale dezvoltării sale. [138]

Performanțele obținute în fabricarea sculelor aşchietoare au influențat evoluția proceselor tehnologice și a construcției de maşini – unelte, în vederea îmbunătățirii parametrilor procesului.

În sensul dezvoltării sculelor aşchietoare s-au observat o serie de tendințe:

- Îmbunătățirea capacității de aşchiere prin realizarea unor forme constructive noi, cu tăişuri confecționate din materiale performante
- Înlocuirea sculelor monobloc cu scule care utilizează materiale performante doar la partea activă
- Înlocuirea treptată a sculelor cu un tăiş cu scule cu tăişuri multiple
- Recondiționarea rapidă, utilizând plăcuțe schimbabile
- Reducerea timpului de concepere a sculelor prin utilizarea proiectării asistate de calculator.

2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND PRELUCRAREA PRIN ABRAZARE A CARBURILOR METALICE

În acest capitol este descris procesul de abrazare, în ansamblu, pentru a identifica factorii care influențează procesul și interdependența dintre ei, precum și cercetări importante în domeniu.

2.1. Aspecte teoretice privind procesul de abrazare

Se analizează procesul de abrazare, prin prisma:

- discului abraziv (natura granulelor, granulație, liant, duritate, factorii care determină alegerea discului abraziv)
- cinematicii procesului (mișcări, forțe, mecanismul de îndepărtare a așchiilor)
- regimului de așchiere (viteză, avans, adâncime de așchiere)
- mediului de așchiere (proprietăți, tipuri de lichide de răcire)
- vibrațiilor
- uzurii discului abraziv (factorii și influența uzurii asupra procesului)
- cantității de căldură produsă în timpul procesului (căldura generată în interacțiunea dintre granula abrazivă și suprafața de prelucrat, distribuția căldurii între discul abraziv, suprafața de prelucrat, așchie și mediul de răcire, metode de reducere a temperaturii în zona de contact, variația cantității de căldură în raport cu parametrii procesului)

2.1.1. Materiale utilizate în construcția corpurilor abrazive

Corpurile abrazive sunt compuse din trei componente principale: granule abrazive, liant și pori, conform figurii 2.1., fiecare având rolul său bine definit. [24]

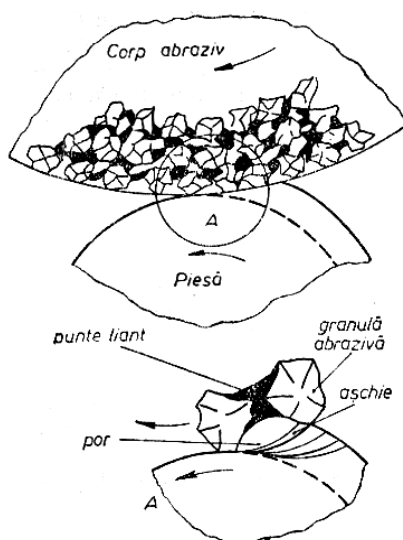


Fig. 2.1. Corpul abraziv [24]

Principalele materiale abrazive folosite la construcția corpurilor abrazive sunt: electrocorindonul, carbura de siliciu, carbura de bor, nitrura cubică de bor și diamantul.

2.1.2. Caracteristicile corpurilor abrazive

Granulația caracterizează mărimea granulei abrazive și se măsoară în μm .

Duritatea corpurilor abrazive reprezintă rezistența liantului la smulgerea granulei.

Structura unui corp abraziv exprimă raportul procentual dintre volumele de granule abrazive, liant și pori.

Liantul este constituit dintr-un material mai moale decât granulele și este solicitat atât mecanic cât și termic. Cel mai utilizat liant este cel ceramic, urmat de rășini sintetice lianți minerali, organici și metalici [180].

2.1.3. Alegerea corpurilor abrazive

Se face în funcție de: materialul granulei abrazive, granulație, duritate și influența suprafeței de contact - piesă - corp abraziv.

2.1.4. Cinematica procesului de abrazare

Cinematica procesului de abrazare cuprinde mișcările care generează suprafața prelucrată, traiectoria descrisă de scula așchietoare, în vederea desprinderii așchii, mecanismul de îndepărtare a așchii, respectiv, formarea așchii.

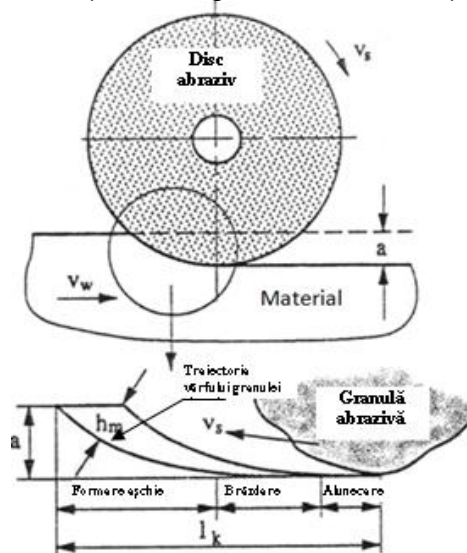


Fig. 2.4. Formarea așchii la abrazare [15]

Dependent de adâncimea de așchiere, granula trece prin trei faze ale formării așchii: alunecare, brăzdare și tăiere. Ponderea celor trei faze depinde de poziția granulei pe suprafața discului și de cinematica prelucrării.

2.1.5. Forțele de așchiere

Forțele de așchiere pot fi estimate considerând interacțiunile granulelor care trec prin zona de abrazare. (fig. 2.5.)

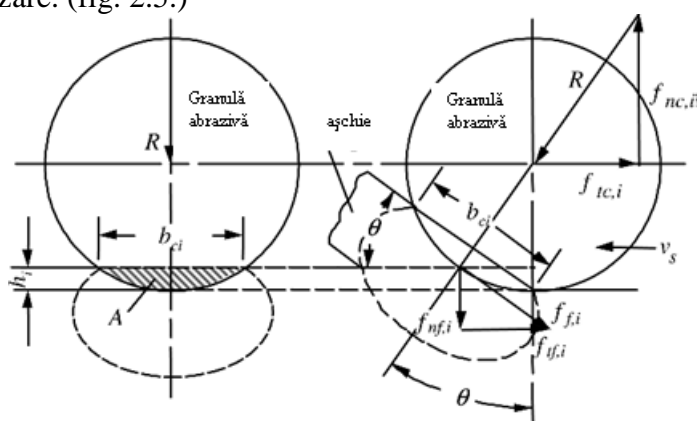


Fig. 2.5. Forța de așchiere pentru o granulă abrazivă - $f_{f,i}$ - forța de frecare; $f_{nf,i}$ - forța de frecare normală; $f_{yf,i}$ - forța de frecare tangențială; b_c - lungimea benzii de contact; h - lățimea benzii de contact [36]

Forțele de așchiere la abrazare au două componente principale, componenta normală și componenta tangențială, F_n și F_t . (fig. 2.7.)

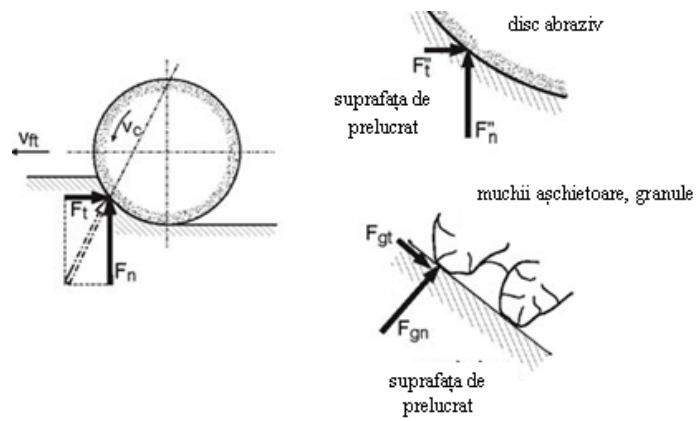


Fig. 2.7. Componentele forței de așchiere la abrazare [187]

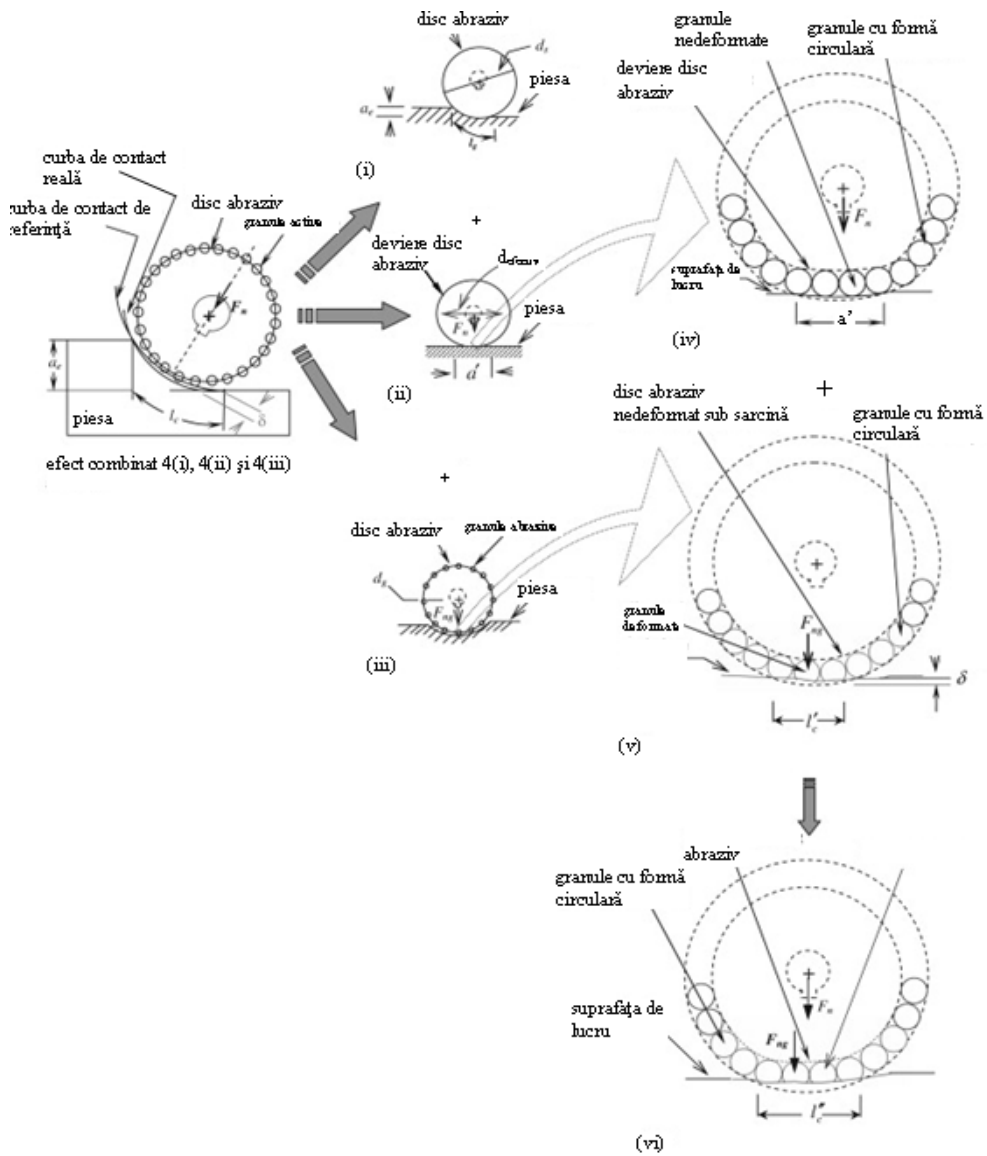


Fig. 2.8. Generarea suprafeței prin abrazare [159]

În figura 2.8. (i - iii), lungimea de contact reală este rezultatul a 3 componente: zona de contact geometrică, deformația elastică dintre disc și suprafața de prelucrat și contactul dintre granula abrazivă și suprafață.

Pentru a calcula lungimea de contact reală, se consideră în primul rând, deformarea elastică reciprocă între discul abraziv și piesa de prelucrat și între granule și piesă și apoi, efectul adâncimii de așchiere [159].

2.1.6. Aspecte ale procesului de abrazare

Abrazarea implică un mare număr de variabile care interrelaționează. Înainte de prelucrare, este necesar a decide care variabile pot fi considerate în procesul de selecție al condițiilor de abrazare. Relațiile și interacțiunile dintre aceste variabile se iau în considerare într-un sistem de control al procesului. Relațiile de dependență dintre diferiții parametri ai procesului se pot observa în figura 2.11.

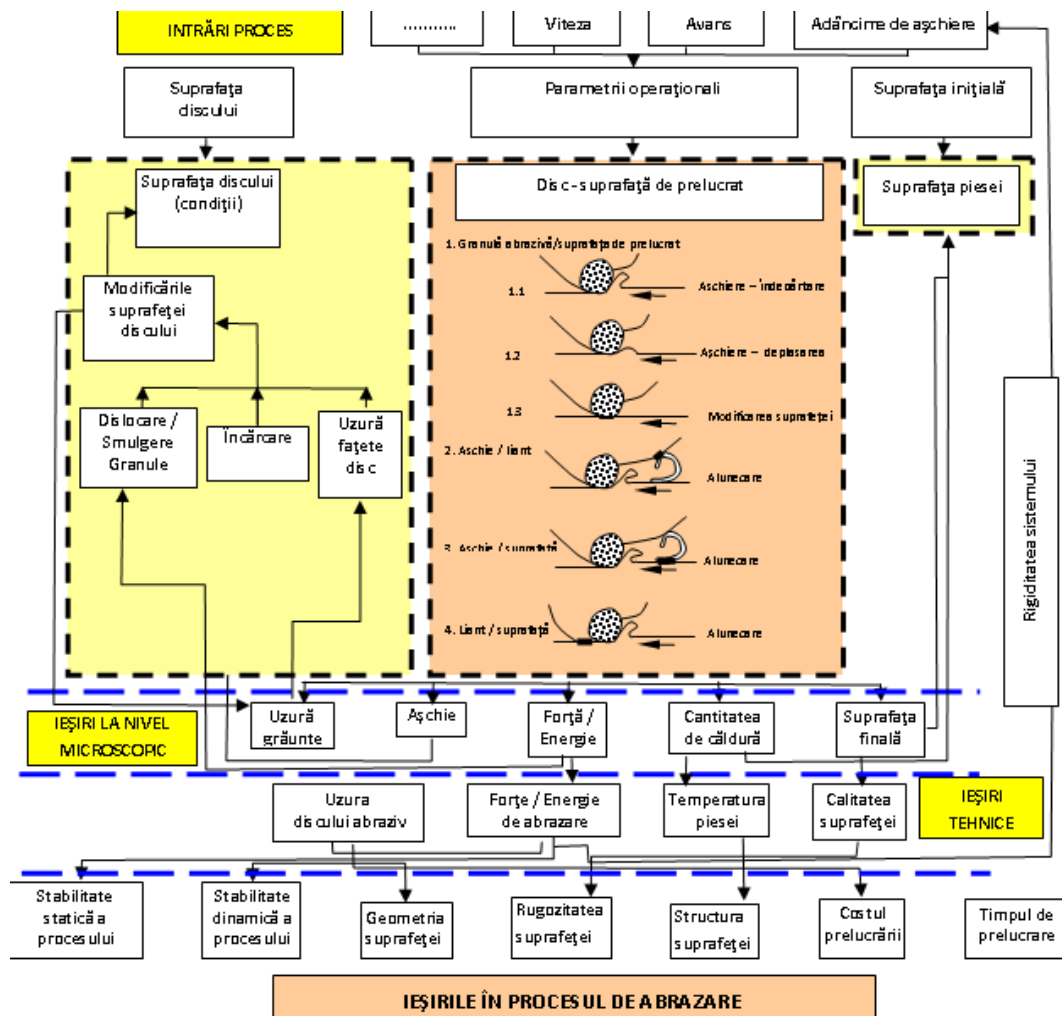


Fig. 2.11. Variabilele care intervin în procesul de abrazare [215]

2.1.7. Regimul de așchiere

Viteza de așchiere este viteza periferică a discului abraziv în raport cu suprafața de prelucrat. Se exprima de regulă, în m/s.

Viteza de avans (avansul) este definită ca mișcarea longitudinală a piesei față de axa discului abraziv la o rotație a acestuia. Viteza de avans se utilizează pentru calculul timpului total de prelucrare. Se măsoară în mm/cursa sau mm/rot.

Adâncimea de așchiere reprezintă grosimea stratului de material îndepărtat la o trecere a sculei așchietoare pe suprafața de prelucrat. Se măsoară în milimetri. Normal,

adâncimea de aşchiere se menține în intervalul 0,005 – 0,04 mm. Valorile mai mici sunt adoptate pentru finisare și abrazare de înaltă precizie.

Un parametru important care definește eficiența prelucrării prin abrazare este rata de îndepărtare a materialului, măsurată în mm^3/s .

2.1.8. Mediul de aşchiere

Mediul de aşchiere are un rol important în procesul de abrazare, mai ales, în condițiile prelucrării cu viteze mari de aşchiere.

Cu toate acestea, luând în calcul efectele nedorite, cum ar fi, poluarea mediului, disconfortul operatorului și efectul dăunător asupra sănătății precum și costurile pe care le implică, numeroase cercetări au fost direcționate spre micșorarea cantității de lichid de răcire sau chiar eliminarea acestuia (abrazare uscată) [37].

2.1.9. Vibrațiile

Vibrațiile din procesul de abrazare pot fi exterioare operației de abrazare sau pot fi generate în condițiile abrazării [79].

Vibrațiile exterioare sunt determinate de sistemul de prelucrare (mașina-unealtă, dispozitive, ghidaje, elemente de legătură, etc.) [154].

Vibrațiile interne (care țin de prelucrare) sunt determinate de prelucrabilitatea materialului, neuniformitatea profilului suprafeței, modificarea proprietăților materialului în timpul prelucrării, avans prea mare sau prea mic [162].

2.1.10. Uzura discului abraziv

În figura 2.12. este prezentată o schemă, care arată factorii implicați în acest fenomen și efectele lor asupra procesului de aşchiere.

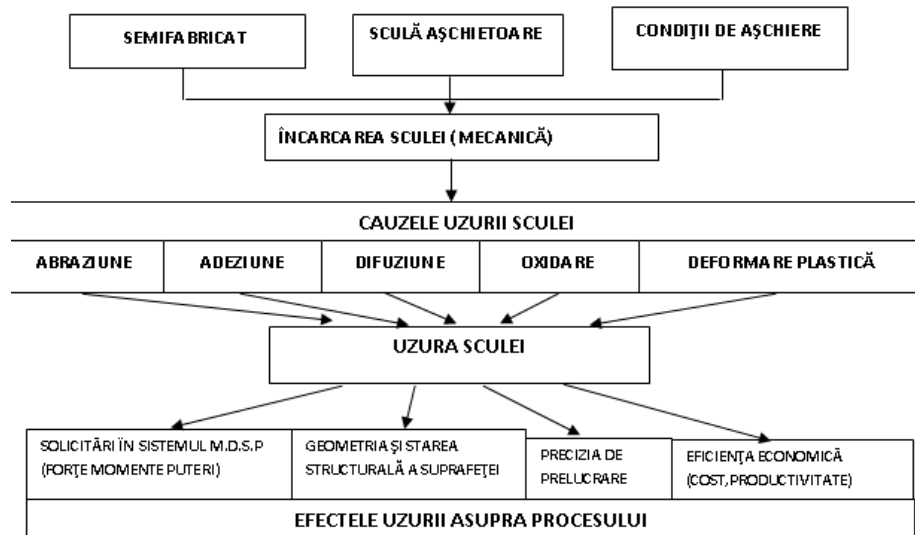


Fig. 2.12. Factorii care determină uzura sculei aşchietoare [24]

2.1.11. Cantitatea de căldură în procesul de abrazare

Formarea aşchiei în prelucrarea prin abrazare se poate diviza în 3 faze:

1. Contactul dintre granula abrazivă și suprafața de prelucrat
2. Deformare elastică
3. Deformare plastică și desprinderea aşchiei

Mare parte din energia consumată în abrazare este convertită în căldură. O parte din aceasta se datorează alunecării și frecării granulelor abrazive pe suprafața prelucrată. Frecarea este însoțită de o cantitate mare de căldură. Reducerea alunecării și frecării duce

la scăderea temperaturii în zona de contact. O soluție în acest sens ar fi creșterea grosimii așchii [107].

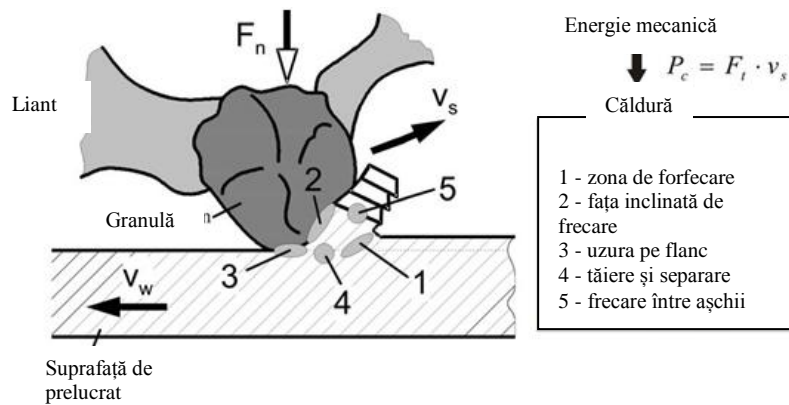


Fig. 2.13. Căldura generată în interacțiunea dintre granula abrazivă și piesă [107]

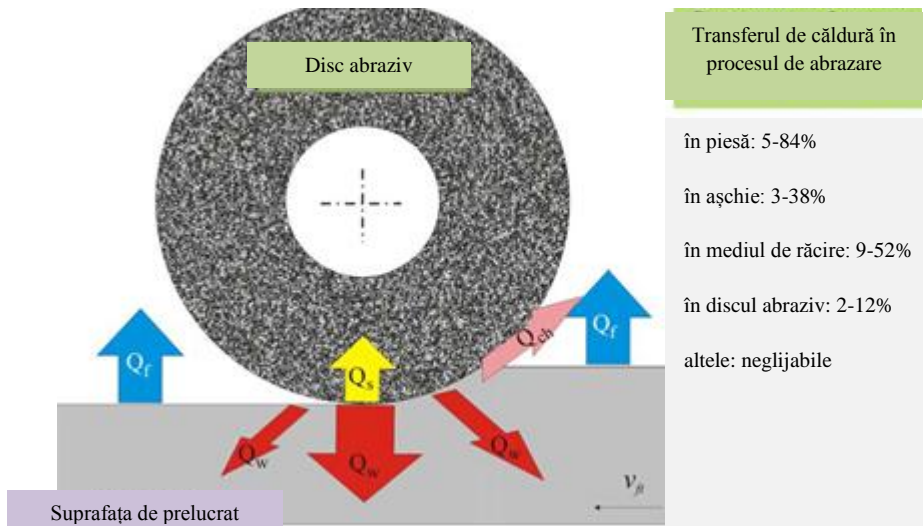


Fig. 2.14. Distribuția căldurii generate în procesul de abrazare [106]

2.1.11.1. Determinarea cantității de căldură în zona de contact

Determinarea cantității de căldură ce se dezvoltă în zona de contact, care ia naștere din energia de așchiere se face cu relația:

$$L_s = M_d \cdot \omega_d = F_t \cdot v_d$$

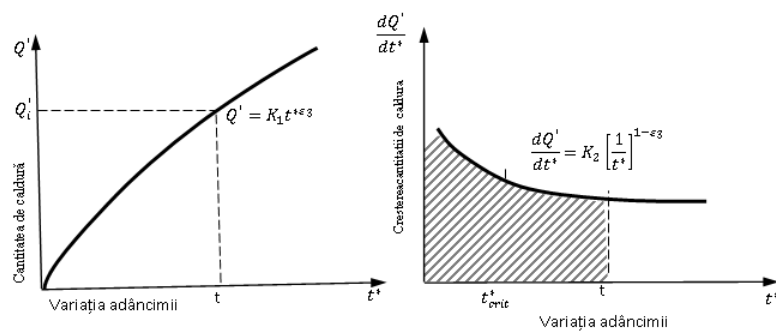


Fig. 2.17. Variația cantității de căldură [227]

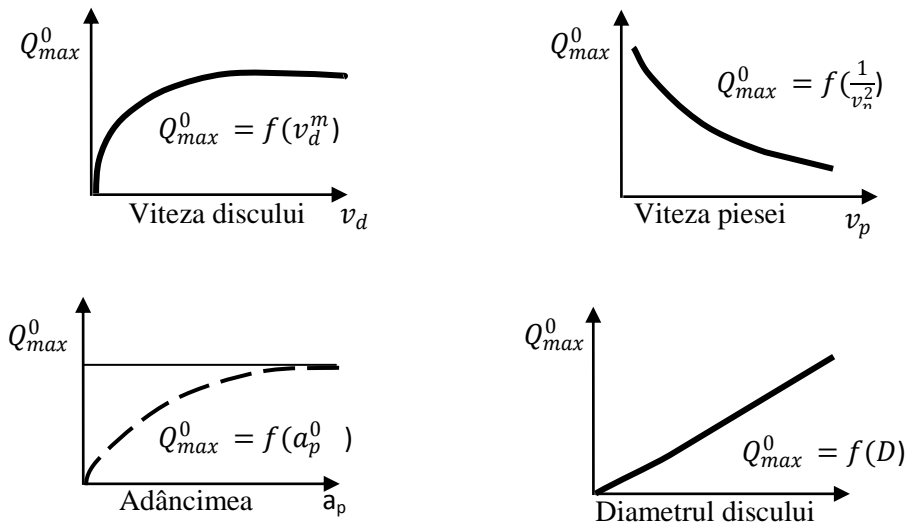


Fig. 2.21. Variația temperaturii maxime în funcție de parametrii procesului [227]

2.1.11.2. Metode de reducere a temperaturii în procesul de abrazare

Reducerea temperaturii și a efectelor acestora necesită o analiză a aspectelor termice, a distribuției căldurii.

Pentru reducerea căldurii în procesul de abrazare a metalelor, numărul total al granulelor abrazive și numărul granulelor active ar putea fi redus. Acest lucru poate fi realizat prin discurile abrazive denumite discuri structurate T-Tool și T-Tool profile. [42]

T-Tool este un sistem inovativ de prelucrare discontinuă sau intermitentă. Această sculă aşchiitoare este plată cu granulele superabrazive într-un singur strat.

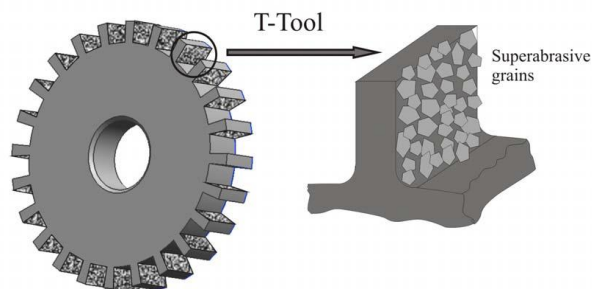


Fig. 2.22. Disc structurat T-Tool [42]

T-Tool poate garanta temperatura scăzută în timpul prelucrării, durabilitatea ridicată a sculei aşchiitoare, calitatea suprafeței prelucrate corespunzătoare.

Primele experimente de abrazare a materialelor fragile au arătat că profilul T - Tool, în comparație cu discurile tip CBN, poate reduce uneori forțele de abrazare cu până la 50 %. Cu toate acestea, astfel de scule sunt dificil de realizat și au costuri ridicate.

2.2. Cercetări privind procesul de abrazare

Cercetarea bibliografică amplă care s-a realizat în cadrul acestui capitol, este prezentată sintetic în tabelele 2.2., 2.3., 2.4.

Tabelul 2.2. Cercetări privind prelucrarea prin abrazare a diferitelor materiale

Materiale	Autori	Analize efectuate	Concluzii
Aliaj de titan (Ti6Al4V)	Xipeng Xu, Yiqing Yu (2002) [214]	S-a comparat uzura unui disc abraziv cu granule din carbură de Al ₂ O ₃ cu uzura unui disc abraziv cu granule de CBN, produse datorită interacțiunilor chimice la temperaturi diferite.	S-a constatat că fenomenul de uzură este mai redus în cazul discului cu granule din CBN, datorită stabilității chimice la temperaturi înalte. Până la momentul studiului cauzele erau legate de compoziția chimică a materialului de prelucrat și a granulelor abrazive, fără a lua în calcul influența temperaturii în acest tip de uzură.
Oțel	Sorokin, G. M., Malyshev, V. N (2008) [171]	Se determină analitic relația de dependență dintre duritatea materialului de prelucrat și duritatea granulelor abrazive	În funcție de caracteristicile mecanice ale oțelului se determină coeficientul de frecare dintre discul abraziv considerat și oțel și în funcție de acesta, rezistența la uzură.
Carbură ceramică BOK60	Ljubodrag Tanovic ș.a. (2011) [181]	Optimizarea prelucrărilor prin determinarea adâncimii critice de pătrundere și a componentelor normale și tangențiale ale forței de așchiere în funcție de avans și adâncime	Adâncimea critică de pătrundere se găsește în domeniul 3 – 5 μm în timp ce fisurile radiale pe suprafața carbunii sunt distribuite la un unghi cuprins între 35 ⁰ și 75 ⁰ față de direcția de mișcare a granulei abrazive. La creșterea vitezei de la 15m/s la 25 m/s unghiul radial de propagare a fisurii este de 10 ⁰ pentru aceeași adâncime de pătrundere a granulei.
Aliaje pe bază de Ni	Qiang Liu, Xun Chen, Nabil Gindy (2007) [148]	Analiza este bazată pe metoda Taguchi prin testarea discurilor abrazive Al ₂ O ₃ și discuri superabrazive cu granule de diamant	Performanța procesului este reprezentată de rugozitatea suprafeței prelucrate, de valoarea rației G, de forțele de prelucrare, putere și temperatură. Se prelucrează mult mai bine cu discuri superabrazive, procesul se desfășoară cu forțe mari de așchiere. La prelucrarea cu discuri din CBN nu este indicată apa ca lichid de răcire.
	Stefan Olovsjö ș.a. (2010) [137]	S-a stabilit dependența dintre duritate și dimensiunile discurilor utilizate	Dimensiunile granulelor abrazive și grosimea așchiei nedeformate influențează comportarea materialului la prelucrare. Uzura crește cu creșterea durității și dimensiunile granulelor nu au efect asupra uzurii flancurilor.
Materiale casante	Z. W. Zhong & V. C. Venkatesh (2009)	S-au comparat două moduri de rectificare, respectiv în paralel și în cruce.	Se determină adâncimea critică de așchiere a materialelor casante în funcție de grosimea critică a așchiei pentru un regim dat.
Oțeluri și aliaje cu plasticitate ridicată	L. V. Khudobin and A. N. Unyanin (2008)	Reducerea uzurii discului abraziv datorată aderenței metalelor la suprafața acestuia prin determinarea forțelor de legătură dintre particulele de metal și suprafața discului.	S-au găsit metode ce pot fi folosite pentru curățarea suprafeței discului abraziv, utilizând lubrifianți și fluid de răcire sub jet de presiune, curățând hidraulic și mecanic cu bară abrazivă.

Tabel 2.3. Cercetări privind proprietățile discului abraziv

Analiza discului abraziv	Autori	Analize efectuate	Concluzii
Corelare liant – granule abrazive-capacitate de abrazare	Hitoshi O., Masaki K., s.a. (2007) [71]	<p>Experimentele s-au desfășurat pe 6 discuri abrazive folosind pulberi de fontă (3,11% C), oțel cu 0,02%C și cu 0,01%C. În masa de liant, numărul granulelor abrazive de diamant sunt între 325 și 1000. Pentru cele 6 discuri abrazive cu caracteristici structurale diferite s-au determinat relațiile dintre timpul de prelucrare și volumul de material îndepărtat, relația dintre presiunea de abrazare și volumul de material îndepărtat.</p> <p>Capacitatea de abrazare a fost evaluată prin metoda prelucrării la presiune constantă a unei carburi metalice $Al_2O_3 - TiC$. Duritatea liantului, forțele de legătură dintre granulele abrazive de diamant și materialele liantului și porozitatea discului sunt relevante în determinarea capacității de abrazare.</p>	<p>Duritatea materialului liantului este esențială pentru a evita deformarea plastică a discurilor abrazive.</p> <p>În utilizarea granulelor abrazive fini este importantă duritatea liantului pentru a asigura o capacitate de abrazare mai mare decât în cazul discurilor abrazive cu granule abrazive grosolane.</p> <p>La abrazarea $Al_2O_3 - TiC$, discurile abrazive poroase cu liant de metal au o capacitate de abrazare de două ori mai mare decât a celor cu alt tip de liant având granule abrazive de aceeași dimensiune.</p> <p>Discurile poroase sunt mai ușor de echilibrat și de recondiționat.</p>
Forma suprafeței discului abraziv pentru prelucrarea sculelor cilindrice cu profil evolventic	Stephen P. Radzevich, Radoslav Krehel (2012)[150]	<p>Se determină profilul discului abraziv pe baza geometriei diferențiale a suprafețelor și a cinematicii mișcării unui solid în spațiul Euclidian. Se utilizează programul SHAVER pentru determinarea analitică a suprafeței și apoi se transpune suprafața teoretică pe suprafața reală, utilizând CNC cu 9 axe. Se urmăresc pozițiile succesive ale discului în mișcarea de rotație, iar contactul cu suprafața de prelucrat se face de-a lungul unei linii.</p>	<p>Se determină forma suprafeței discului abraziv prin metoda prelucrării discrete a suprafețelor specificate, metodă care permite identificarea formei și caracteristicilor discului, definit discret. Metoda analitică este încorporată în programul SHAVER care poate fi utilizat în profilarea discurilor necesare modelării sculelor cu profil evolventic. Suportul matematic este geometria diferențială de definire a suprafețelor în prelucrare.</p>
Granule abrazive din carburi ale metalelor de tranziție	A.A. Adamovskii (2007) [1]	<p>S-a realizat o clasificare în 3 grupe a tipurilor de granule cristaline în funcție de forma suprafeței și material.</p> <p>Gr. I – granule abrazive clasice cu suprafețe cristaline plane, aplicate pe scară largă. Se caracterizează prin fisurarea intra și intercristalină ceea ce determină autoascuțirea granulelor abrazive.</p> <p>Gr. II – granule ușoare, cu rezistență mecanică mică. Se utilizează la finisare și fasonare. În procesul de prelucrare se dezintegrează intensiv. Calitatea suprafeței este redusă.</p> <p>Gr. III – granule cu structură sinterizată utilizate la degroșare. Performanța discului abraziv este dependentă de materialul și structura granulei.</p>	<p>Carburile metalelor de tranziție au proprietăți superioare de prelucrare prin abrazare. Operația de prelucrare este eficientă, iar calitatea suprafeței prelucrate este superioară.</p> <p>Borurile, carburile și nitrurile metalelor de tranziție rezolvă o parte din inconvenientele celorlalte materiale abrazive (elasticitate, conductivitate termică, activitate chimică).</p> <p>Materialele abrazive sinterizate bazate pe carburile metalelor de tranziție au fost cercetate, în special, din punct de vedere al comportării la ascuțirea sculelor așchietoare.</p>

Topografia pietrei abrazive	Fengwei HUO, Zhuji JIN, ș.a. (2008) [75]	Pentru a investiga procesul de abrazare este necesar a evalua exact topografia pietrei de rectificat. Pentru aceasta s-a analizat distribuția granulelor de diamant, profilul acestora și distanța dintre doi granule adiacenți. Se utilizează interferometria luminii albe pe suprafața discului măsurând în 3D.	Pentru recunoașterea granulelor de diamant este necesară prelevarea unui interval mic în spațiu pe o suprafață de referință mare cu o rezoluție puternică. Interferometria luminii albe se folosește cu precizie pentru măsurarea suprafețelor discurilor abrazive cu granule fini. Metoda bazată pe frecvența de apariție a caracteristicilor profilului granulelor și distanța dintre 2 granule de diamant adiacenți este utilizată pentru identificarea granulelor de diamant.
Granule active	Safonova M.N., A.S. Syromyatnik ova, ș.a. (2007) [156]	Cercetările au fost orientate în elaborarea unei metodologii de determinare a numărului de granule abrazive active prin metode de calcul experimental. Algoritmul acestei metode constă în alegerea modelului geometric al granulei active, calculul numărului granulelor active în materialul compozit și verificarea rezultatelor obținute. Pentru alegerea modelului geometric s-a stabilit un parametru care caracterizează abaterea volumului real de granule abrazive de la modelul analog, pentru diferite forme geometrice ale granulelor. Pentru determinarea cantității de granule active s-a folosit metoda <i>metalografiei cantitative</i> . Numărul de particule s-a determinat folosind distribuția probabilistică pentru particule cubice. Verificarea rezultatelor s-a făcut prin așa numita <i>metodă CDS</i> (Computer Diagnostic Sieve)	Metoda prezentată poate fi aplicată în evaluarea concentrației de granule având forme aleatoare și distribuție statistic omogenă în raport cu volumul de material compozit. Procesul de așchiere se intensifică odată cu creșterea dimensiunii granulei. Acest lucru se datorează creșterii solicitării pe granulă, ceea ce determină scăderea capacității liantului de a reține particulele abrazive.
Distribuția granulelor pe suprafața de lucru a discului abraziv	V.A. Nosenko, E.V. Fedotov, ș.a. (2007) [130]	Având în vedere că nu toate granulele participă la realizarea prelucrării s-a realizat un model probabilistic al suprafeței de lucru a discului abraziv ținând cont de probabilitatea de contact dintre granula abrazivă și suprafața prelucrată și diferite tipuri de uzură ce pot apărea. Uzurile care apar sunt: uzura prin abraziune, smulgerea granulelor din masa de liant și uzura ca rezultat al reacțiilor chimice. Pentru elaborarea modelului probabilistic este necesar să se cunoască probabilitatea apariției fiecărui tip de uzură al grăuntelui abraziv și mărimea acesteia. Se pot utiliza trei discuri abrazive în condițiile apariției celor trei tipuri de uzură sau se divide radial, în trei zone, suprafața de lucru a unui disc.	Suprafața de lucru a discului abraziv este privită ca un sistem probabilistic ce include trei subsisteme: probabilitatea de contact a granulelor cu suprafața de prelucrat, probabilitatea uzurii granulelor și tranziția probabilităților în corespondență cu modificările stării granulelor ca rezultat al uzurii.
Granule abrazive	G.A.	Obiectul cercetării a fost	Pe baza metodei utilizate se aleg

cu dimensiuni diferite	Guseinov, S.A. Bagirov (2009) [63]	îmbunătățirea procesului de abrazare prin asigurarea acțiunii uniforme a granulelor abrazive asupra suprafețelor de prelucrat. Se știe că odată cu descreșterea dimensiunii granulelor abrazive, numărul lor crește, dar și rugozitatea suprafeței prelucrate este mai mică. Se analizează un disc abraziv cu benzi care conțin granule abrazive de diferite dimensiuni, astfel încât să se asigure o acțiune uniformă. Se determină dimensiunea granulelor și granulația.	granule cu dimensiuni mari pentru partea frontală a benzii cu descreșterea în dimensiune pentru benzile succesive (numărul lor crescând odată cu scăderea dimensiunii). S-a demonstrat că, dacă granulele acționează uniform în procesul de abrazare, se reduc: frecarea exterioară și temperatura, iar eficiența procesului de abrazare crește.
Comparație între suprafețele discurilor abrazive standard și cele cu granule abrazivi cu dimensiuni diferite	S.A. Bagirov (2012) [11]	S-a demonstrat, teoretic, acțiunea uniformă a granulelor abrazive din benzile succesive ale discurilor abrazive (G.A. Guseinov, S.A. Bagirov (2009)). În studiul de față se verifică aceste supoziții și se determină dependența rugozității suprafeței prelucrate în funcție de condițiile de abrazare impuse de cele două tipuri de discuri abrazive.	Se obțin două modele matematice care sunt analizate statistic și experimental, din punct de vedere al parametrilor de prelucrare. Se măsoară rugozitatea suprafeței prelucrate cu cele două tipuri de discuri abrazive. Modelele obținute permit optimizarea parametrilor de prelucrare ale discului cu granule abrazive diferite. Analiza rezultatelor arată că rugozitatea suprafeței prelucrate este considerabil mai mică în cazul prelucrării cu discuri cu benzi succesive decât în cazul discurilor standard.

Tabelul 2.4. Cercetări privind procesul de abrazare

Factori de influență	Autori	Analize efectuate	Concluzii
Forțe de așchiere	Qiang Liu, ș.a. (2007)	S-au studiat forțele de așchiere ca factori importanți în performanța abrazării. Forța de așchiere este rezultanta componentei normale și tangențiale. Aceste componente au fost studiate comparativ pe două discuri Al ₂ O ₃ și CBN.	Forțele de așchiere sunt mai mici la discurile CBN și mai mari la cele Al ₂ O ₃ dar rugozitatea este mai mare deoarece solicitarea și uzura prin frecare a discului abraziv CBN este mai mare la degroșare, temperatura este mai ridicată și determină reacția CBN cu fluidul de răcire pe bază de apă
Forțe de frecare (coeficientul de frecare)	G. M. Sorokin and V. N. Malyshev (2008) [171]	Se calculează coeficientul de frecare în absența lubrifiantului folosind un disc tip bară. Se studiază dependența dintre coeficientul de frecare și caracteristicile materialului (plasticitate, limită de curgere, rezistența la uzură)	S-a observat că odată cu creșterea rezistenței și durtății materialului coeficientul de frecare scade. Cu creșterea plasticității coeficientul de frecare crește. La prelucrarea abrazivă fără lubrifiant coeficientul de frecare caracterizează rata de uzură a discului.
Căldura degajată	K. Salonitis, ș.a. (2008)	Căldura degajată este datorată deformării plastice a materialului de prelucrat, precum și frecării dintre suprafața prelucrată și suprafața discului abraziv.	Studiul s-a focalizat pe evaluarea influenței caracteristicilor discului abraziv în procesul de abrazare al materialelor dure. A fost conceput un model pentru estimarea cantității de căldură degajată în procesul de

		În studiul realizat se neglijează căldura degajată în urma deformării plastice, cercetarea realizându-se asupra căldurii degajate prin frecare.	abrazare, ca o funcție a parametrilor de proces și a caracteristicilor discului abraziv. S-a determinat experimental dependența Hardness Penetration Depth (HPD) de parametrii de proces. HPD reprezintă adâncimea la care duritatea se reduce cu 80% față de valoarea nominală.
	Xipeng Xu, Yiqing Yu (2002) [214]	Temperatura de prelucrare în zona de contact determina modificari structurale ale suprafeței de prelucrat, precum și aderența materialului la suprafața discului abraziv. S-a studiat comportarea unui disc abraziv cu granule de Al_2O_3 și a unui disc superabraziv CBN.	Studiul s-a realizat în scopul determinării factorilor care măresc durata de viață a discului abraziv, respectiv corelarea structurii discului abraziv cu cantitatea de căldură degajată în procesul de abrazare. Pentru diferite temperaturi de prelucrare, $450^{\circ}C$, $800^{\circ}C$ și $1000^{\circ}C$, s-a constatat că discul superabraziv are o stabilitate chimică și o rezistență mai bună la temperaturi ridicate.
	A.V. Repko, V.A. Smirnov (2008) [152]	Aliajele cu conductivitate termică scăzută prezintă defecte de prelucrare datorate temperaturii în zona de contact. Densitatea fluxului de căldură absorbită de materialul de prelucrat depinde de viteza de așchiere, de componenta tangențială a forței de așchiere. La o viteză constantă de prelucrare, defectele termice sunt datorate creșterii instantanee a forței de așchiere. Reducerea tensiunilor termice se poate face utilizând prelucrarea prin abrazare cu discuri abrazive discontinue, cu elemente elastice.	Discurile discontinue studiate au elemente elastice fixate pe suprafața acestuia pentru a micșora zona de contact.
Fluide de răcire	Mamun A. A., Dhar N. R. (2012) [118]	Se are în vedere micșorarea cantității de fluid de răcire și se evaluează influența sa asupra modului de formare a așchii și rugozitatea suprafeței prelucrate cu discuri abrazive Al_2O_3 și CBN la nivele diferite ale parametrilor de proces, atât în mediu uscat cât și cu o cantitate minimă de lichid.	Se dezvoltă un model analitic al suprafeței prelucrate bazat pe investigații experimentale prin care se constată că rugozitatea suprafeței prelucrate este mult mai mică atunci când se utilizează fluid de răcire decât în mediu uscat. Rugozitatea este proporțională cu viteza de rotație a discului abraziv. Viteza de lucru are o influență semnificativă asupra valorii rugozității. Discurile CBN sunt mult mai stabile decât cele convenționale. Modelul obținut poate fi utilizat cu o precizie de 96,46% pentru aprecierea rugozității suprafeței prelucrate.
	Tawakoli T., Westkaemper E. (2007) [186]	Rectificarea uscată (fără lichid de răcire) este un proces economic și ecologic, dar este dificil de a realiza	Studiul se bazează pe identificarea unor strategii de minimizare a utilizării fluidului Strategiile adoptate se împart în 3

		<p>acest lucru datorită naturii procesului de abrazare. Utilizarea lichidului de răcire are rolul de a reduce și elimina căldura degajată în timpul procesului. Reducerea căldurii se poate face și prin modificarea unor parametri legați de regimul de aşchiere și de structura discului abraziv.</p>	<p>grupe principale:</p> <p>I. Transferul de căldură între suprafața de prelucrat și discul abraziv se realizează printr-un alt mediu.</p> <p>II. Transferul de căldură este orientat spre discul abraziv sau spre aşchiile formate, astfel încât să nu afecteze suprafața prelucrată.</p> <p>III. Transferul de căldură este strâns legat de modul de formare a aşchiei, ceea ce face obiectul studiului. Cercetarea este focalizată pe optimizarea formării aşchiei. Orice modificare a parametrilor procesului de abrazare are influență asupra cantității de căldură generate în proces.</p> <p>În acest studiu, eficiența prelucrării este determinată de creșterea timpului de realizare.</p>
Vibrații	Yao Yan, Jian Xu (2012) [217]	<p>Vibrațiile care însoțesc procesul de abrazare influențează uzura discului abraziv și calitatea suprafeței prelucrate. În acest studiu se analizează comportarea dinamică a sistemului disc abraziv – piesă de prelucrat în rectificarea cilindrică. Se determină relația dintre forța de contact și viteza de rotație a piesei și a discului abraziv. În final se identifică regiunile în care vibrațiile sunt absente sau ne semnificative ca valoare.</p>	<p>Mecanismul prin care forța de contact induce vibrații este clarificat prin combinarea analizei valorilor proprii cu algoritmul continuității. Pentru evitarea vibrațiilor se poate micșora forța de contact prin alegerea unui disc abraziv moale, cu o lățime mică sau prin micșorarea vitezei de avans. Pentru proiectarea unui proces de abrazare este necesară analiza lineară și nonlineară a fenomenului.</p>
Eficiența procesului de abrazare	Wang S., C.H. Li (2012) [200]	<p>Se prezintă stadiul actual al cercetărilor privind randamentul procesului de abrazare în dependență cu factorii de proces, avans mare, adâncime mare de aşchiere, precum și sistemul mașină – piesă – disc abraziv.</p>	<p>Se identifică problemele specifice procesului de abrazare din punct de vedere fizic și chimic și pentru fiecare problemă identificată se stabilesc direcțiile de cercetare privind creșterea performanței procesului precum și reducerea costurilor prelucrării materialelor avansate.</p>
Uzura discului abraziv	Feng Z., Chen X. (2007) [53]	<p>Studiul se bazează pe utilizarea instrumentelor de procesare a imaginii ale programului MATLAB pentru determinarea gradului de uzură al granulelor abrazive</p>	<p>Utilizarea acestor tehnici de procesare a imaginii sunt eficiente în identificarea solicitărilor și monitorizarea discului abraziv în situații reale de prelucrare.</p>
	Sumaiya Islam, Raafat N. Ibrahim (2011)	<p>Se studiază uzura abrazivă prin frecare în două, modul de atac al suprafeței de prelucrat și aşchiera propriu zisă.</p>	<p>Se determina coeficientul de frecare pentru prelucrarea cu două tipuri de discuri abrazive în funcție de parametrii regimului de aşchiere.</p>
Rigiditatea sistemului	V.I. Lavrinenko (2009)	<p>Studiul are în vedere rigiditatea discului abraziv</p>	<p>S-a demonstrat că în cazul în care rigiditatea discului abraziv este mult</p>

de prelucrare		<p>ca factor de influență a performanței procesului. Rigiditatea sistemului mașină – sculă – piesă este determinată de fiecare element component al sistemului. Se realizează o comparație între rigiditatea discului abraziv și a celorlalte componente. Cercetările au avut ca țintă clarificarea dependenței dintre uzura discului abraziv și rugozitatea suprafeței raportată la rigiditatea axială a discului. Testele s-au făcut la prelucrarea carbunii T15K6.</p> <p>S-a luat în discuție felul în care rigiditatea discului abraziv poate fi controlată. S-au identificat factorii care influențează rigiditatea: grosimea discului, modulul de elasticitate și diametrul.</p>	<p>mai mare decât cea a echipamentului, ea nu are nici o influență asupra performanței procesului. Dacă sistemul mașinii are o rigiditate inadecvată acesta poate fi compensată prin reducerea forțelor în procesul de așchiere.</p> <p>Discurile abrazive cu profil standard au o mare rigiditate. Reducerea chiar și de trei ori a acestei caracteristici nu afectează în mod esențial performanța prelucrării. O valoare de 10 MN/m poate fi luată ca limită de rigiditate atât pentru discurile abrazive cât și pentru mașina de rectificat.</p>
Proiectarea procesului de abrazare	Koshin A.A., Chaplygin B.A. (2011) [97]	Procesul tehnologic trebuie să satisfacă cerințele clientului legate de timpul de livrare al produsului și costurile minime.	Optimizarea procesului se face prin crearea unor modele matematice care reflectă dependența dintre caracteristicile procesului și caracteristicile discului abraziv, la prelucrări cu diverse discuri în condiții diferite de așchiere

2.3. Concluzii

Activitatea de documentare a permis identificarea acelor direcții de cercetare în care nu există suficiente informații, sau nu s-a ajuns la cele mai bune rezultate din punct de vedere teoretic și experimental. Analiza menționată a dus la următoarele concluzii:

- procesul de abrazare este un proces complex dependent de o multitudine de variabile;
- prelucrarea materialelor dure se face doar prin abrazare;
- factorii de influență cu cea mai mare pondere asupra calității suprafeței prelucrate prin abrazare sunt: discul abraziv, prin forma, proprietățile sale și gradul de uzură, parametrii regimului de așchiere, viteza de așchiere, viteza de avans, adâncimea de așchiere
- procesul de abrazare prezintă următoarele avantaje: precizie ridicată, calitate superioară a suprafeței, productivitate ridicată;
- în cadrul analizelor experimentale ale procesului de abrazare prezentate, au fost luate în considerare materiale de tipul aliajelor de titan, aliaje pe bază de nichel, materiale casante, oțeluri și aliaje cu plasticitate ridicată și au fost mai puțin analizate carburi metalice cu conținut ridicat de carbură de wolfram;
- nu s-au făcut studii amănunțite privind abrazarea unor suprafețe de dimensiuni mici, cu muchii și găuri, așa cum sunt suprafețele active ale burghiilor pentru găuri adânci de diametre reduse
- modelarea și simularea procesului de abrazare s-a elaborat în formă generală, și mai puțin pentru situația prezentată anterior.

CERCETĂRI PRIVIND PROCESUL ȘI ECHIPAMENTELE DE ABRAZARE

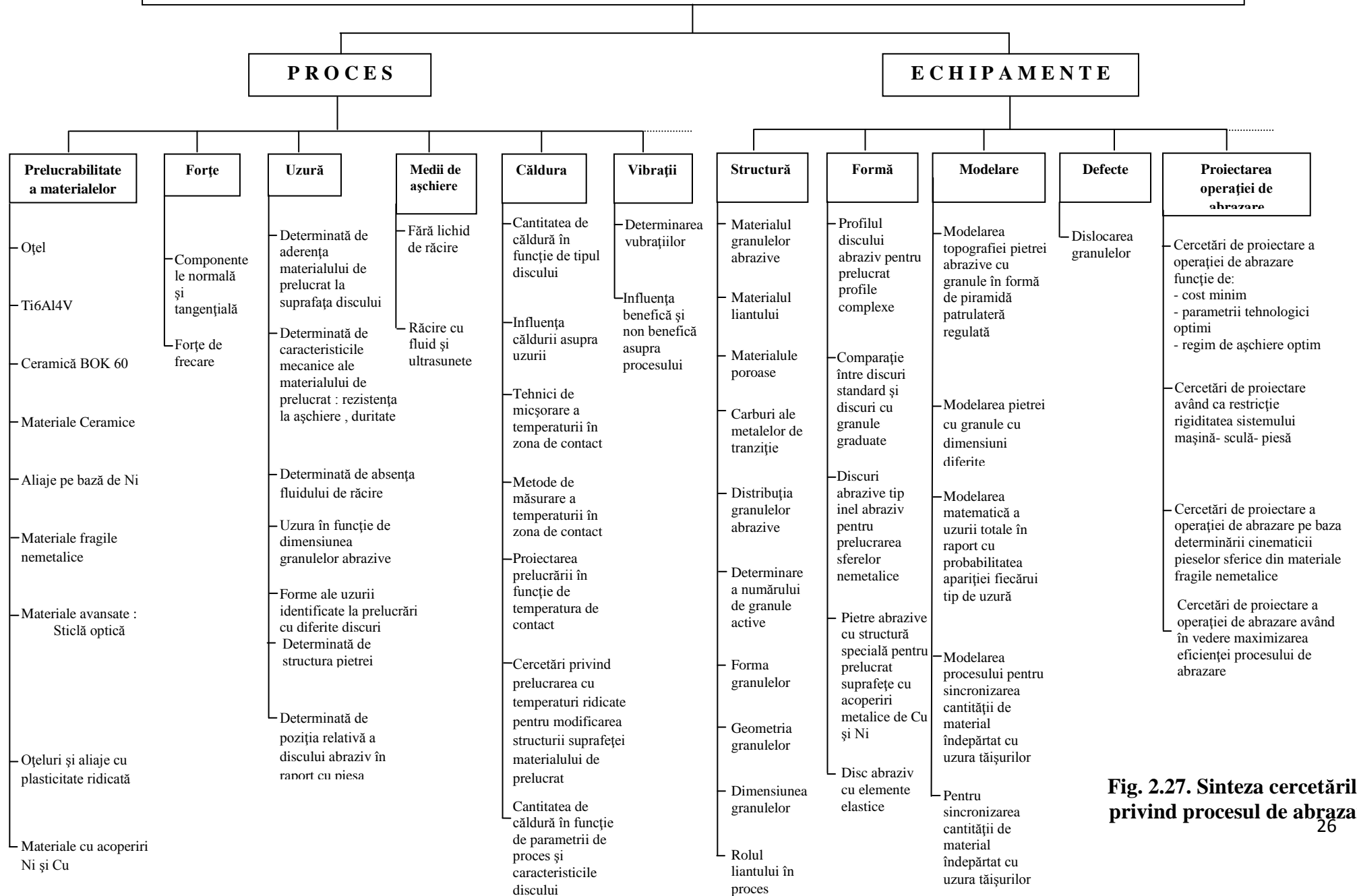


Fig. 2.27. Sinteza cercetărilor privind procesul de abrazare

3. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI

Scopul acestei teze de doctorat este concretizat în studiul abrazării carburilor metalice specifice fabricării burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici. Cercetările realizate în cadrul lucrării au vizat procesul de abrazare a suprafețelor acestor burghie, care sunt mici, prezintă muchii așchietoare și găuri pentru pătrunderea lichidului de răcire.

Plecând de la observațiile formulate pe parcursul cercetării documentare, a fost posibilă definirea obiectivelor care urmează a fi atinse pe parcursul cercetării dezvoltate în cadrul prezentei teze:

1. Prezentarea sistematică a stadiului actual al cercetărilor privind prelucrarea prin abrazare, în general, și a carburilor metalice, în special, urmărind:

- aspecte teoretice ale procesului de abrazare cu aplicație la carburile metalice;
- rezultate ale analizelor realizate privind abrazarea diferitelor materiale, în special cele cu durități ridicate;
- caracteristicile discurilor abrazive necesare în diferite situații de prelucrare;
- interdependența dintre factorii implicați în desfășurarea procesului.

2. Caracterizarea procesului de abrazare a carburilor metalice de tip DK460UF utilizate la confecționarea sculelor așchietoare pentru prelucrarea alezajelor adânci;

3. Prezentarea burghiilor pentru găuri adânci și a cerințelor impuse suprafețelor specifice burghiilor pentru găuri adânci;

4. Studiul tehnologiei de realizare a burghiilor monobloc din carbura DK460UF pentru prelucrarea găurilor adânci de diametre mici și reascuțirea acestora;

5. Problematika procesului de abrazare și modelarea acestuia. Modelarea temperaturii în abrazarea carburii DK460UF;

6. Elaborarea unui model al procesului de abrazare al carburilor metalice de tip DK460UF;

7. Proiectarea și realizarea unor cercetări experimentale privind:

- forțele de așchiere;
- temperatura;
- uzura discului abraziv;
- rugozitatea;
- identificarea parametrilor optimi de prelucrare în realizarea burghiilor monobloc pentru găuri adânci de diametre mici.

8. Elaborarea unor modele pe baza datelor obținute în prealabil pe cale experimentală și validarea lor, făcând posibilă stabilirea parametrilor optimi de prelucrare;

9. Determinarea procesului optim de abrazare a carburii metalice DK460UF, utilizată la fabricarea burghiilor pentru găuri adânci de diametre reduse.

Ca metode de cercetare, se vor folosi: metode creative, analiza valorii, FEM, cercetări experimentale.

4. MODELAREA PROCESULUI DE ABRAZARE

În acest capitol sunt prezentate modele ale procesului de abrazare întâlnite în literatura de specialitate, care au constituit punct de plecare în modelarea abrazării carburii DK460UF.

4.1. Generalități - model și modelare

În acest paragraf se definește ”modelul”, atributele modelului, procesul de modelare și etapele și activitățile modelării.

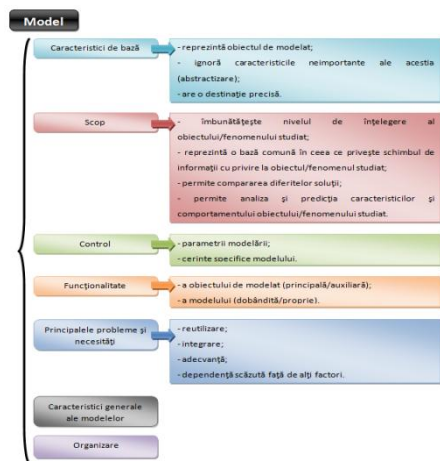


Fig.4.1. Atributele modelului [138]

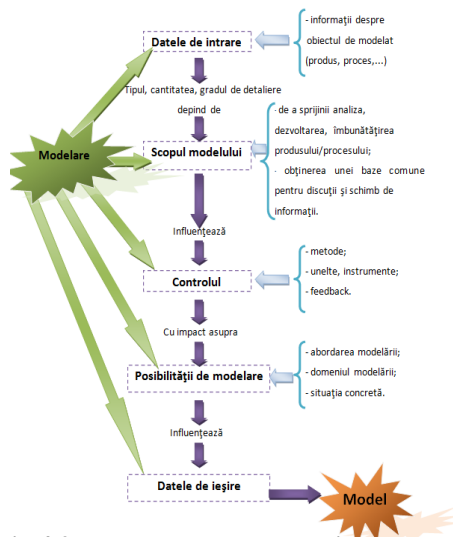


Fig.4.2. Elementele procesului de modelare și relațiile dintre acestea [138]

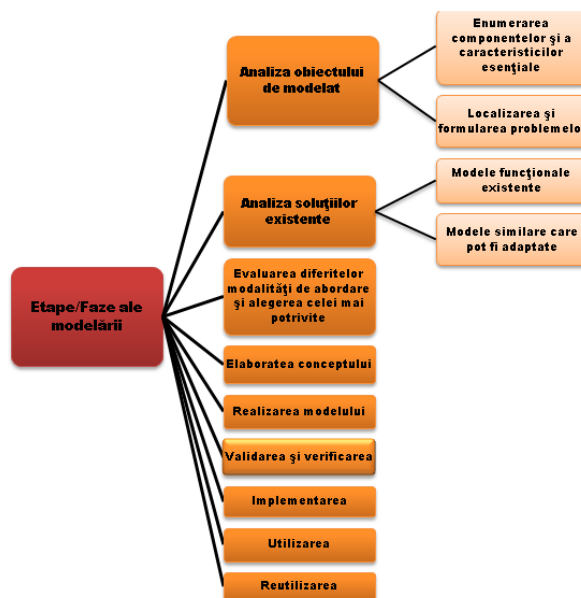


Fig. 4.3. Etapele și activitățile modelării [138]

4.2. Modelarea proceselor și produselor

Modelarea eficientă impune o analiză a interdependenței dintre cerințele funcționale și parametrii modelării. De asemenea este necesară o ierarhizare a factorilor care influențează semnificativ procesul analizat.

În cazul procesului de abrazare, ierarhizarea factorilor s-a realizat cu ajutorul metodei ”Tripla cruce” (variantea franceză), prezentată în paragraful 4.6.1.

4.3. Modelarea și simularea procesului de abrazare

Modelul procesului de abrazare este o reprezentare simplificată a procesului real, care permite o estimare mult mai rapidă a efectelor modificărilor sistemului real.

Specialiștii din domeniul simulărilor recomandă creșterea succesivă a complexității modelului. Validarea modelului procesului de abrazare presupune simularea acestuia în condiții cunoscute, urmată de compararea rezultatelor cu cele ale procesului real.

4.3.1. Modelul interdependenței dintre elementele procesului de abrazare

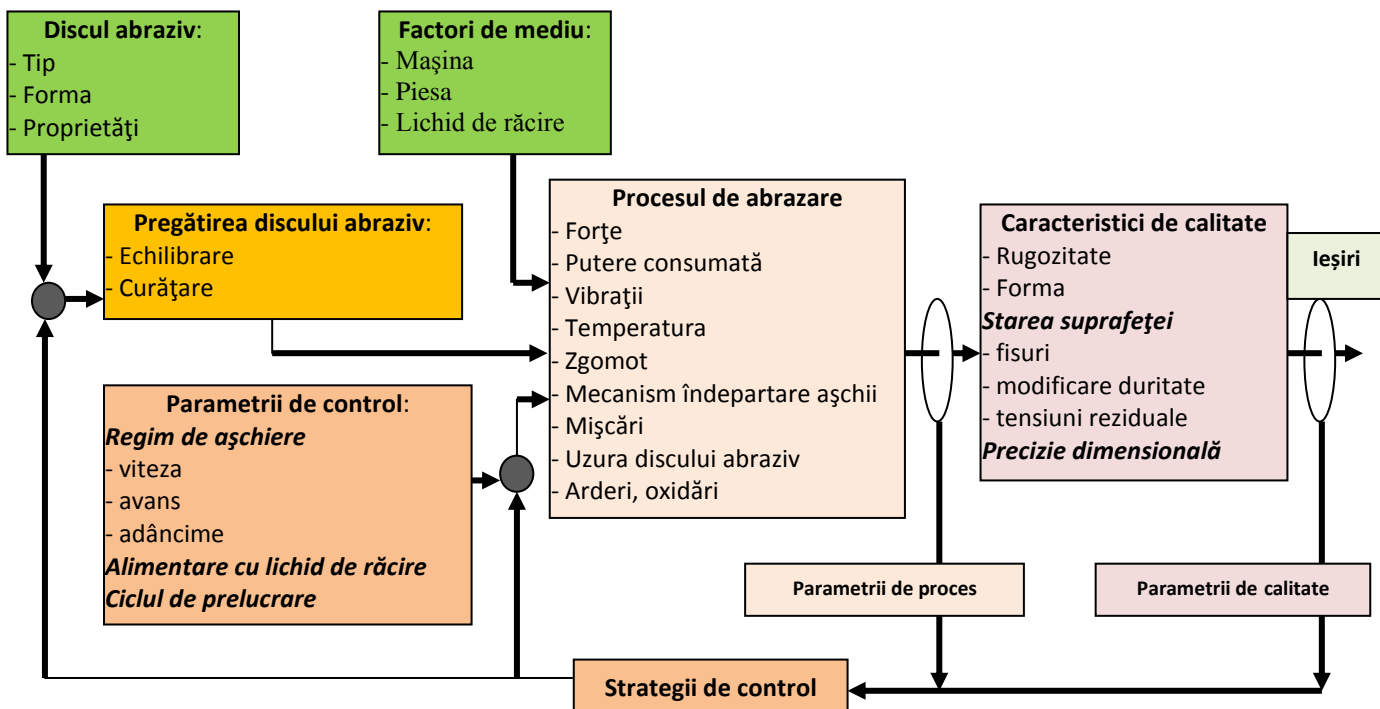


Fig. 4.5. Procesul de abrazare și interdependența dintre elementele procesului [226]

După cum se vede în figura 4.5., procesul de abrazare este o funcție dependentă de multe variabile, care determină mărimi de ieșire măsurabile, cum ar fi: forțele de aşchiere, puterea consumată, temperatura în zona de contact, starea suprafeței prelucrate, rugozitatea, forma, precizia dimensională, costul și productivitatea prelucrării. Variabilele care intră în proces sunt legate de discul abraziv, mașina unealtă, regimul de aşchiere, etc.

Din ceea ce s-a arătat anterior, factorii care influențează în mod semnificativ calitatea suprafeței prelucrate sunt prezentați sintetic în fig. 4.5.

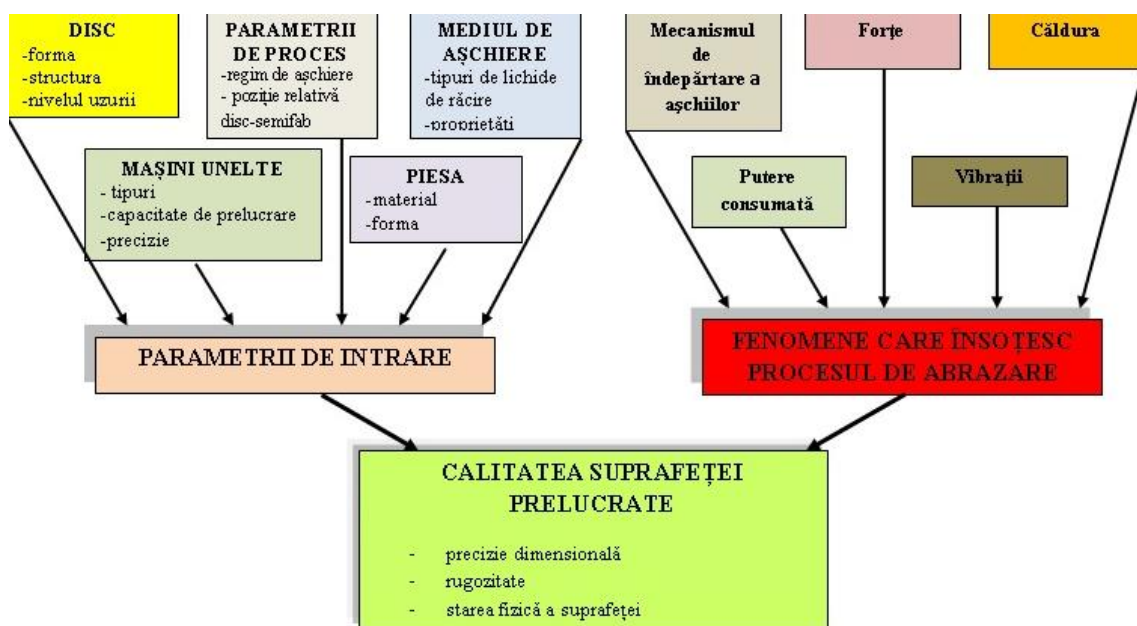


Fig. 4.5. Elementele care influențează calitatea suprafeței prelucrate [24]

4.4. Modele ale procesului de abrazare

4.4.1. Modelarea procesului de prelucrare

După 1990, modelarea și simularea a cunoscut o dezvoltare spectaculoasă, în concordanță cu dezvoltarea sistemelor informatice și a tehnologiilor avansate.

Făcând un studiu comparativ între cercetările făcute în domeniul abrazării în sensul determinării interrelaționării dintre parametrii procesului și modelarea și simularea procesului de abrazare, se observă o creștere semnificativă a lucrărilor elaborate pe latura modelării și simulării. (fig. 4.6.)

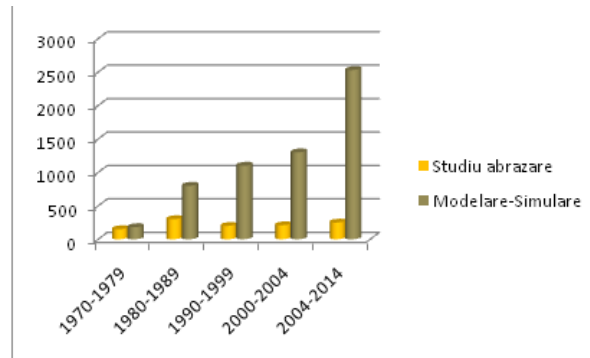


Fig. 4.6. Evoluția cercetărilor în domeniul modelării și simulării procesului de abrazare [21]

4.4.2. Modele ale procesului de abrazare

Procesul de abrazare reprezintă suma interacțiunilor dintre granula abrazivă și suprafața de prelucrat, iar modelele trebuie să descrie complexitatea relațiilor dintre topografia discului abraziv, cinematica procesului și caracteristicile piesei de prelucrat.

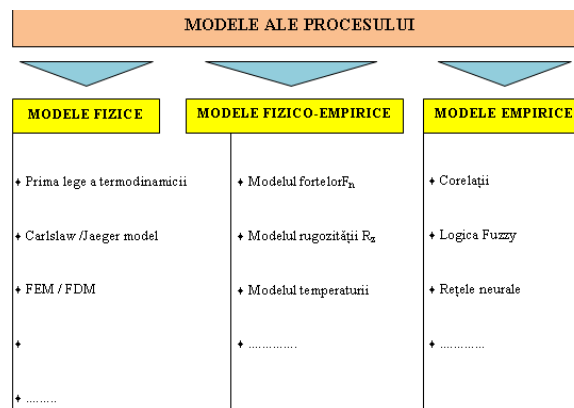


Fig. 4.8. Metode de modelare a procesului de abrazare [187]

4.4.3. Modele empirice

În acest paragraf sunt descrise caracteristicile modelelor empirice. Modelele empirice sunt construite, în principal, pe baza valorilor măsurate în timpul prelucrării. Cele mai relevante modele sunt cele care integrează sistemele expert bazate pe cunoștințe

4.4.4. Modele analitice

Modelele analitice se folosesc pentru a evita « cutia neagră » a modelelor empirice.

Metodele statistice consideră abrazarea ca un proces de aşchiere în care toate granulele abrazive de pe suprafața discului care sunt în contact cu suprafața de prelucrat aşchiază cu aceeași adâncime de aşchiere.

4.4.5. Modelare cu Elemente Finite (FEA – Finite Element Analysis)

Dacă modelarea cinematică poate fi folosită ca bază pentru calculul forțelor și a energiei specifice, modelarea elementelor fizice ale procesului este un domeniu al analizei cu elemente finite –FEA.

Pentru a transfera procesul de abrazare într-un mediu virtual este necesară reducerea variabilelor sistemului. În acest model idealizat, toți parametrii relevanți sunt integrați. Parametrii de intrare pentru o simulare tipică FEA, sunt: geometria suprafeței de prelucrat, proprietățile materialului de prelucrat, forțele de așchiere, parametrii de proces, coeficientul de transfer al căldurii între mediul de așchiere și suprafața de prelucrat, etc.

4.4.6. Aplicații ale simulării procesului

Metoda FEA permite o mai bună înțelegere a procesului și ajută la analiza complexă a rezultatelor experimentale.

Pentru abrazare plană, s-au creat multe modele pentru a simula distribuția temperaturii în timpul prelucrării, în diferite condiții de aplicare a lichidului de răcire. (fig. 4.15)

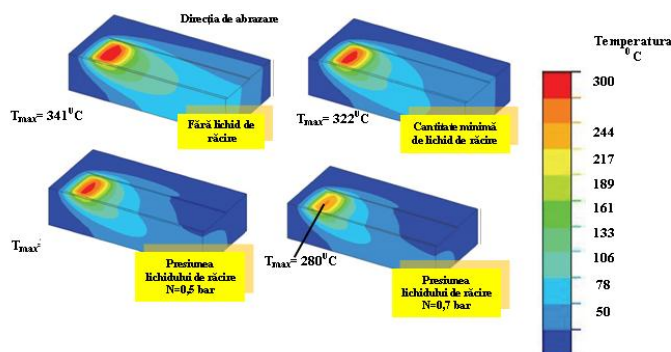


Fig. 4.15. Distribuția câmpului de temperaturi pentru diferite situații de aplicare a lichidului de răcire [70]

4.4.7. Modelare utilizând metode statistice (Analiza Regresiei)

Analiza regresiei este un termen generic dat metodei statistice care are ca scop găsirea unei relații funcționale între variabilele dependente și una sau două variabile independente.

Modelele întâlnite în literatura de specialitate, independente de timp, au avut ca țintă modelarea componentei normale a forțelor de așchiere. Coeficienții și exponenții au fost sintetizați în tabelul 4.1. Pentru aplicabilitatea acestor modele este necesar a se examina îndeaproape ecuațiile modelării matematice.

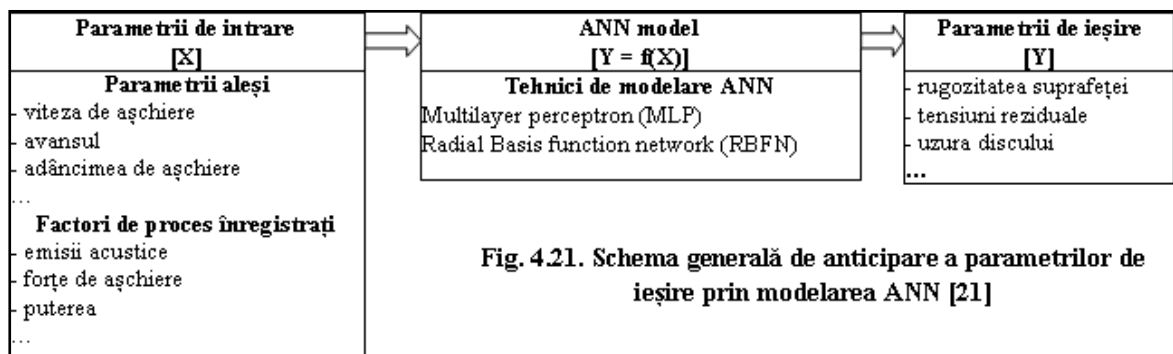
Tabelul 4.1. Comparatie între coeficienții modelelor realizate pentru componenta normală a forței de așchiere [21]

$F_n^* = c_{wp} \cdot c_{gw} \cdot \left(\frac{1}{q}\right)^{e1} \cdot a_s^{e2} \cdot d_{eq}^{e3}$									
Disc abraziv		Parametrii de intrare			Coeficienții modelului				
f_d	a_d	q	a_e	d_{eq}	$c_{wp} \cdot c_{gw}$	$e1$	$e2$	$e3$	
[mm]	[μ m]	-	[μ m]	[mm]	-	-	-	-	
EK80L7VX		60	50 - 250	32,7	19,74	0,74	0,87	0,13	1
CK45									
0,2	3*20								
EK60L7VX		60-220	15-105	10-100	10,34	0,56	0,78	0,22	2
100Cr6									
0,2	3*50								
B126V180		20-90	6-100	82,3	9,53	0,56	0,78	0,22	3
100Cr6									
-	-								

1. Konig / Werner 2. Peters / Decneut 3. Salje / Bock

4.4.8. Modelare prin rețele artificiale (ANN)

Aceste modele se disting printr-o serie de proprietăți care le recomandă pentru modelarea proceselor complexe, instabile, care depind de multe variabile de intrare.



4.4.9. Modele bazate pe cunoștințe și sisteme expert (Knowledge based and expert system)

Knowledge Based System (KBS) se referă la un sistem bazat pe cunoștințe care poate soluționa o funcție, rezolvabilă în mod normal de inteligența umană. Expert System se referă la un tip specializat de sistem bazat pe cunoștințe care oferă consultanță și sunt utilizate în scopuri cu înaltă specializare.

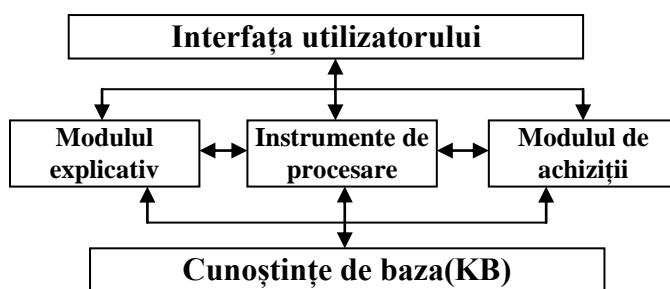


Fig. 4.25. Structura unui sistem expert [21]

Modelele KBS au fost utilizate pentru optimizarea parametrilor de abrazare. Aceste modele au fost combinații ale unor modele matematice ale procesului în scopul anticipării rugozității suprafeței, forțelor de așchiere, uzurii discului abraziv și temperaturii de abrazare.

4.5. Concluzii privind modelarea procesului de abrazare

- Modelele dezvoltate prin diverse tehnici de modelare sunt limitate în domeniile diferiților parametri care definesc procesul de abrazare.

- Modelele cinematice se apropie destul de mult de procesul real de abrazare.

- Analiza cu elemente finite realizează simularea fizică a întregului proces. Experimentele și materialele necesare pentru verificarea simulărilor sunt limitate de tehnicile actuale de măsurare.

- Analiza regresiei este o altă tehnică de modelare, în scopul stabilirii unor relații între parametrii de intrare și cei de ieșire. Experimentele și calcularea coeficienților de regresie rămân principalii factori pentru alegerea unor astfel de modele.

4.6. Modelarea procesului de abrazare a carburii DK460UF

4.6.1. Prezentarea carburii DK460UF

Carbura DK460UF este o carbură de wolfram (WC), fabricată printr-un proces numit metalurgia pulberilor. Pulberile de carbură de wolfram se găsește în proporție de 91% , restul, 9% , fiind liant metalic, respectiv cobalt.

Materialul DK460UF are dimensiunile granulelor între 0.5 și 0.6 μm

4.6.2. Problematika abrazării carburii DK 460 UF

Carbura metalică, cu 91% WC și 9% Co, prezintă proprietăți specifice, care influențează prelucrarea prin abrazare. Astfel, dimensiunile mici ale granulelor de carbură de wolfram determină o rezistență mecanică bună, o duritate mare, stabilitate termică bună, rezistență mare la uzură. Aceste proprietăți le recomandă pentru fabricarea burghiilor pentru găuri adânci de diametre reduse.

4.6.3. Ierarhizarea problemelor procesului de abrazare utilizând metoda ”Triplei Cruci”

Pentru determinarea importanței factorilor de influență asupra procesului de abrazare a carburii metalice DK460UF, s-a pornit de la modelul general de abrazare a carburilor metalice elaborat în urma cercetării modelelor din literatura de specialitate.

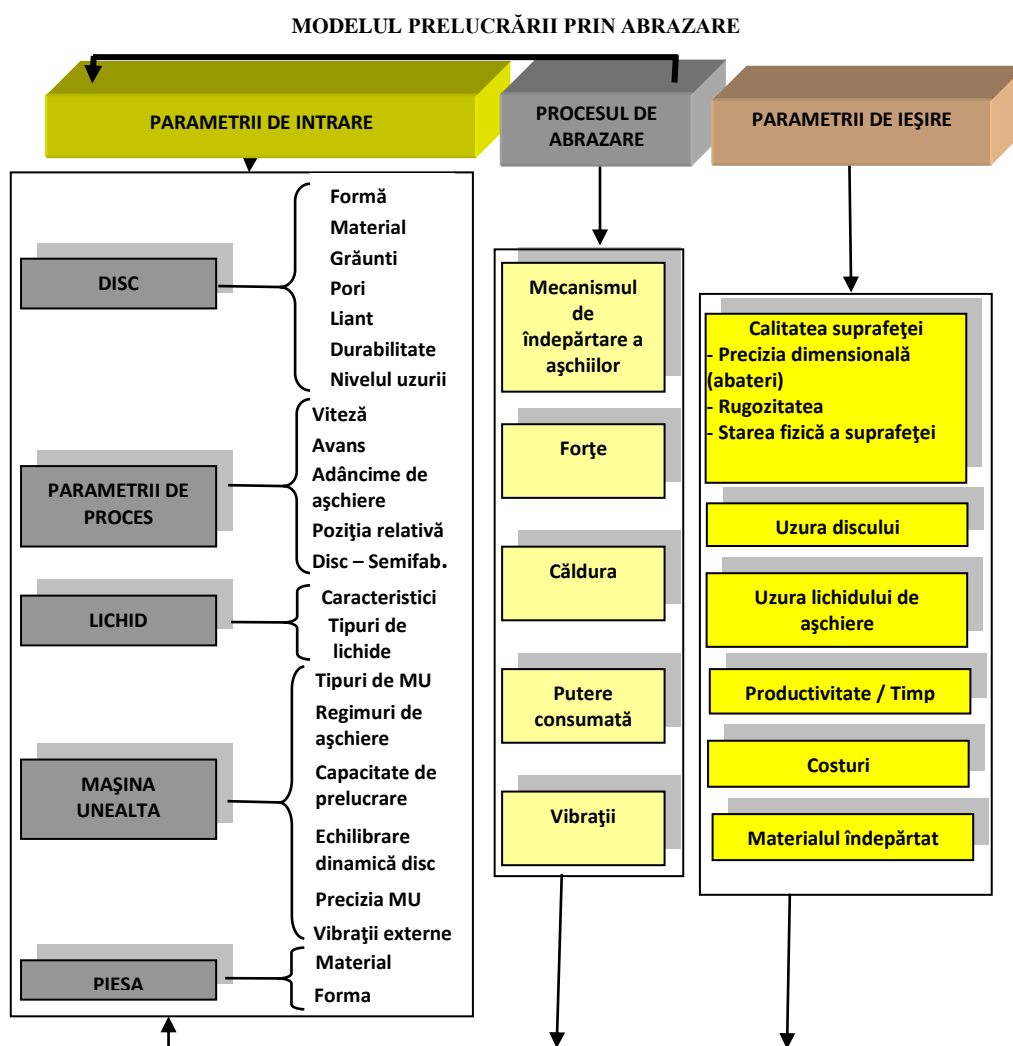


Fig. 4.33. Modelul prelucrării prin abrazare

Pentru proiectarea unui proces de abrazare optim pentru prelucrarea carburilor metalice în general, și a burghiilor pentru găuri adânci, în particular, am propus criteriile de evaluare a procesului de abrazare, care sunt prezentate în figura 4.34.

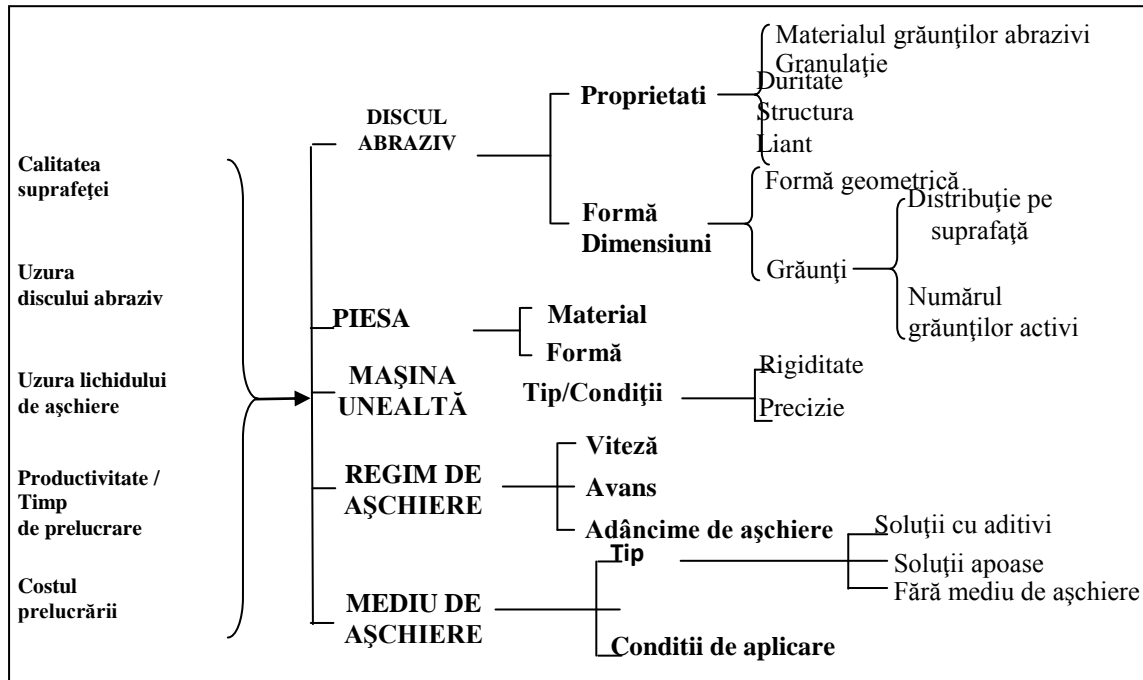


Fig. 4.34. Sinteza criteriilor de evaluare ale procesului de abrazare

Urmărind criteriile de evaluare propuse în figura de mai sus, am identificat cererile pentru o abrazare corectă a burghiilor de găurit adânc, confecționate din carbură metalică.

Identificând pentru fiecare ieșire a procesului de abrazare parametri de intrare care îi influențează, am făcut o ierarhizare a acestora, realizată cu metoda “triplei cruci”.

Prin analogie, pentru fiecare ieșire s-a determinat ponderea importanței relative a fiecărui element care participă la desfășurarea procesului.

Numar FP :	2
Numar FC :	3
TOTAL	5

/ : Importanta egala
1 :usor superir
2 :mediu superior
: Net
3 superior

Funcții	Puncte	%
FP1	4	19.0%
FP2	6	28.6%
FC1	1	4.8%
FC2	8	38.1%
FC3	2	9.5%
TOTAL	21	100 %

FP1	FP2	FC1	FC2	FC3
FP1	3	2	3	2
	FP2	1	/	3
		FC1	3	2
			FC2	2
				FC3

Pentru precizia dimensională, cerințele importante sunt starea inițială a discului abraziv 38%, precizia mașinii unelte 28%, rigiditatea mașinii unelte 19%. (figura 4.35)

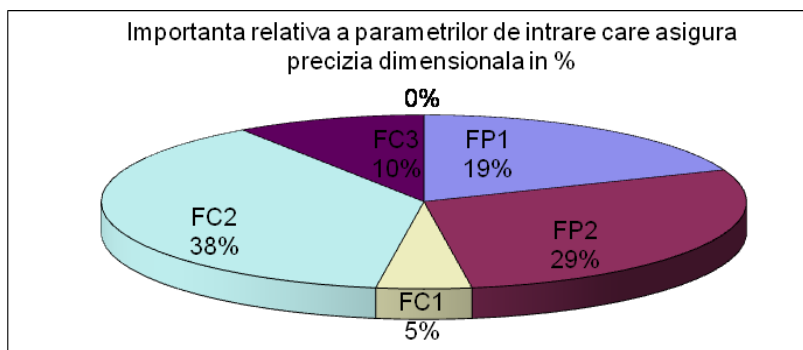


Fig. 4.35. Ierarhizarea parametrilor de intrare care influențează precizia dimensională

Cerințele importante privind rugozitatea sunt proprietățile discului abraziv 41,7%, adâncimea de așchiere 20,8% avansul și viteza de așchiere 16,7%.

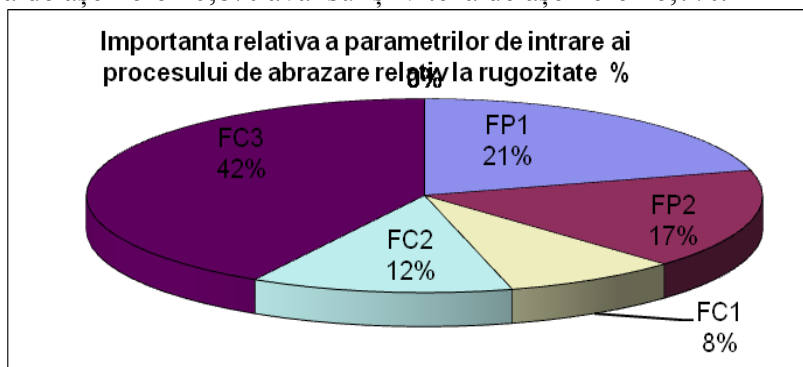


Fig. 4.36. Ierarhizarea parametrilor de intrare care influențează rugozitatea suprafeței

Se observă că, starea fizico – chimică a suprafeței este influențată de uzura discului abraziv 29,1%, adâncimea de așchiere 21,8%, viteza de așchiere 21,2% și de mărimea suprafeței de contact dintre discul abraziv și suprafața prelucrată 12,7%.

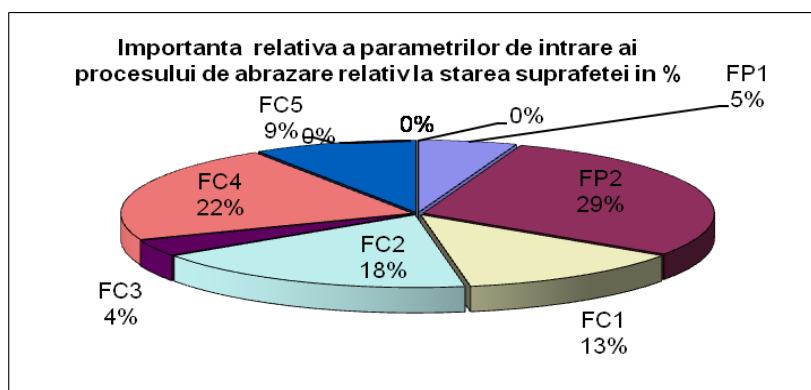


Fig. 4.37. Ierarhizarea parametrilor de intrare care influențează starea suprafeței

Plecând de la cerințele generale ale unui proces eficient de abrazare, dar și de la condițiile specifice ale abrazării carburilor metalice și în special de la prelucrarea burghiilor de găurit adânci de diametru mic se vor enunța toate cerințele, se vor ierarhiza și în final, se vor selecta cele mai semnificative pentru asigurarea unui proces de prelucrare optim, după care se va elabora un model optim al procesului de abrazare a acestor scule.

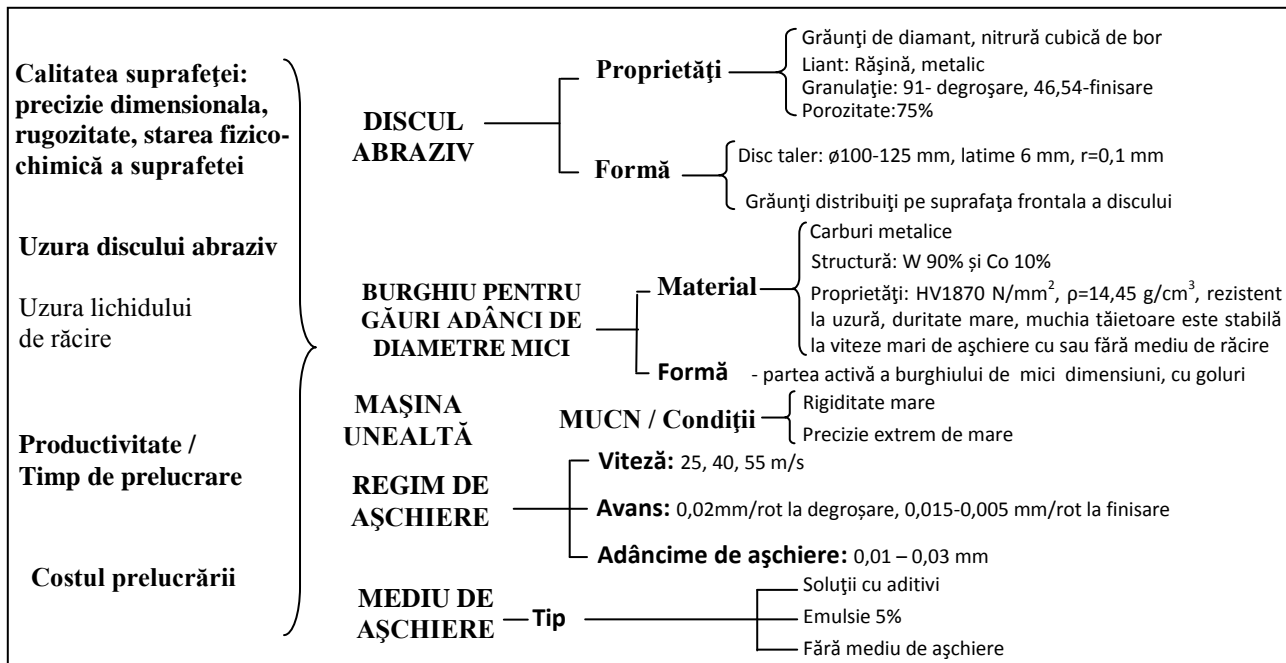


Fig. 4.40. Sinteza condițiilor de abrazare a burghiilor din carbură metalică pentru prelucrarea găurilor adânci de diametre mici

Observații:

- Discul abraziv trebuie să fie format din granule abrazive de diamant sau nitrură cubică de bor, distribuite într-un liant mineral (rășină), discul având o porozitate mare;
- Rugozitatea suprafețelor abrazate trebuie să fie mică, să aibă valori cuprinse între 0,225 μm și 0,4 μm . Ea depinde de granulația materialului abraziv, structura discului și regimul de așchiere.
- Regimul de așchiere are o influență semnificativă asupra procesului de abrazare; prelucrarea trebuie să se facă cu viteză de așchiere mare, 55 m/s, adâncime de așchiere mică, 0,015 mm și avans mic, 0,005 mm/rot.
- Componentele normală și tangențială ale forței de așchiere sunt dependente de viteza de așchiere și de adâncimea de așchiere. Ele trebuie să aibă valori mici și constituie un indicator al uzurii discului abraziv.
- Utilizarea corespunzătoare a lichidului de răcire este importantă pentru reducerea cantității de căldură produsă și pentru evitarea defectelor termice ale vârfurilor și tășurilor burghiului; se utilizează emulsie de apă și ulei 5% - PETROFERSUPERFIN, la o presiune de 1 MPa, indicat pentru calitatea impusă suprafeței burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici.
- Pentru prelucrarea suprafețelor de dimensiuni reduse, cum sunt suprafețele burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici, este importantă distribuția granulelor pe suprafața frontală a discului abraziv
- Căldura degajată în procesul de așchiere poate determina defecte ale suprafeței prelucrate și deteriorarea elementelor sistemului de prelucrare.

4.7. Modelarea cu element finit a fluxului de temperatură

4.7.1. Calculul fluxului de temperatură și al temperaturii maxime

Pentru calculul temperaturii s-a folosit modelul lui Jaeger, în care discul abraziv este reprezentat ca o sursă de căldură, uniform distribuită de-a lungul lungimii de contact între piesă și disc, deplasându-se de-a lungul piesei cu o viteză egală cu viteza piesei.

Materialul prelucrat :

Carbura DK460UF : WC – 91% și Co - 9%

Tabel 4.3. Proprietățile carburii metalice DK460UF

Temperatura maximă de utilizare (°C)	Conductivitatea termică W/(m K)	Căldura specifică J/(K kg)	Duritate HV Kg / mm ²	Densitate g / cm ³	Modulul lui Young GPa	Coeficientul Poisson
1000	73.0 - 100.0	200 - 480	1730 - 2400	12 - 15.8	600 - 715	0.24

1. Calculul lungimii de contact

Se utilizează formula: $l_c = \sqrt{a_p \cdot d_s}$ (4.1.)

unde a_p este adâncimea de aşchiere, d_s este diametrul discului abraziv.

Date utilizate: $d_s = 300$ mm, respectiv 180 mm, $a_p = 0,015$ mm, respectiv 0.025 mm

Tabel 4.4. Lungimea de contact pentru diferite adâncimi de aşchiere și pentru discuri diferite

Nr. crt.	Diametrul discului d_s [mm]	Adâncimea de aşchiere a_p [mm]	Lungimea de contact l_c [mm]
1	300	0,015	2,12
2	300	0,025	2,74
3	180	0,015	1,64
4.	180	0,025	2,12

2. Calculul fluxului de temperatură

Fluxul de căldură se calculează cu formula :

$$Q = \varepsilon \cdot \frac{F_t^I \cdot v_s}{l_c} \quad (4.6.)$$

unde ε este cantitatea de căldură din piesă, în procente, F_t^I este forța tangențială pe unitatea de lățime a piesei, v_s este viteza periferică a discului abraziv, l_c este lungimea de contact.

$$\varepsilon = \frac{0,55 \cdot u_{ch} + u_{pl} + u_{sl}}{u} = \frac{u - 0,45 \cdot u_{ch}}{u} \Rightarrow \varepsilon = 1 - 0,45 \frac{u_{ch}}{u} \quad (4.8)$$

u_{ch} este o constantă egală cu 13,8 J/mm³.

$$u = \frac{F_t^I \cdot v_s}{a \cdot v_w} \quad (4.9)$$

unde v_w este viteza piesei, F_t^I - forța tangențială specifică.

Tabel 4.5. Forța tangențială specifică pentru cele două discuri abrazive considerate

Nr. crt.	Diametrul discului, d_s [mm]	Adâncimea de aşchiere, a_p [mm]	Forța tangențială pe unitatea de lățime a piesei F_t^I [N/mm]
1	300	0,015	4,58
2	300	0,025	5,05
3.	180	0,015	2,75
4.	180	0,025	3,25

Tabel 4.6. Valorile fluxului de temperatură în funcție de viteză și adâncimea de așchiere

Nr. crt.	Diametrul discului d_s [mm]	Adâncimea de așchiere a_p [mm]	Experimental	Rezultate din calcul			
			F'_t [N/mm]	u [J/mm ³]	ϵ [%]	l_c [mm]	Q [W/mm ²]
1.	180	0,015	2,75	34,375	0,819	1,64	34,33
2.	180	0,025	3,25	24,375	0,745	2,12	28,55
3.	300	0,015	4,58	91,6	0,932	2,12	80,53
4.	300	0,025	5,05	60,6	0,897	2,74	66,13

2. Calculul temperaturii maxime:

$$\theta_m = \frac{\beta \cdot \alpha_w^{1/2} \cdot \epsilon \cdot P}{k_w \cdot b \cdot d_s^{1/4} \cdot v_w^{1/2} \cdot a^{1/4}} \quad (4.10)$$

unde, θ_m este temperatura maximă, β este constanta dependentă de forma sursei de căldură ($\beta = 1,13$ pentru forma rectangulară, $\beta = 1,06$ pentru forma triunghiulară), α_w este difuzia termică în piesă, ϵ este procentul de căldură din piesă, P este puterea de abrazare, k_w este conductivitatea termică a materialului piesei, b este lățimea de contact, d_s este diametrul discului, v_w este viteza piesei, a_p este adâncimea de așchiere.

1. $a_p = 0,025$ mm, $\Theta = 476^{\circ}\text{C}$
2. $a_p = 0,015$ mm, $\Theta = 461,41^{\circ}\text{C}$

4.7.2. Analiza cu element finit a fluxului de temperatură

Pentru realizarea modelului temperaturii în zona de contact se utilizează software ABAQUS 6.13.4.

Carbura metalică supusă studiului este paralelipipedică, de dimensiuni 110x20x10.

Se analizează modelul, considerând transferul de căldură în echilibru termic (staționar). Interacțiunea este de tip suprafață - mediu. Conductivitatea mediului (aer) = 20. Pentru fiecare pas este invariabil. Se consideră că temperatura mediului este uniform distribuită și este de 23°C . S-a aplicat fluxul termic calculat, cu valori variabile în funcție de valorile regimului de așchiere.

Rezultă modelele de transfer de căldură în funcție de viteza de așchiere și adâncimea de așchiere.

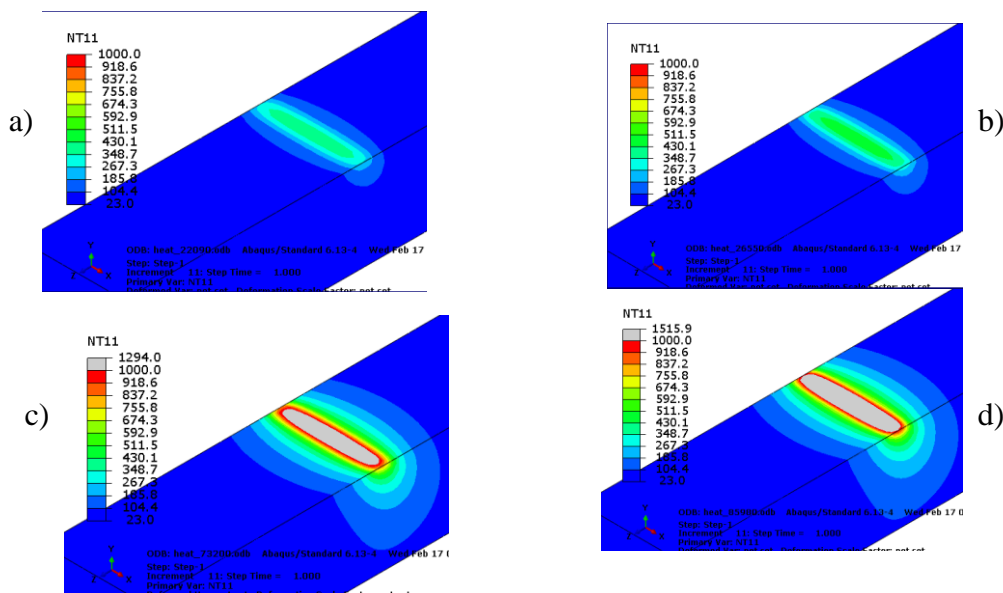


Fig. 4.53. Variația fluxului de căldură în zona de contact a) $v = 25$ m/s, $a_p = 0.015$ mm b) $v = 25$ m/s, $a_p = 0.025$ mm c) $v = 40$ m/s, $a_p = 0.015$ mm d) $v = 40$ m/s, $a_p = 0.025$ mm

Temperatura este influențată de adâncimea de așchiere. Pentru cele două adâncimi de așchiere, temperatura este mai scăzută (461°C) pentru o adâncime mai mică (0,015 mm).

Fluxul de căldură depinde de parametrii regimului de așchiere. Se observă că, temperatura crește odată cu creșterea vitezei de așchiere, corelată cu creșterea adâncimii de așchiere, rezultat obținut și pe cale experimentală.

5. SCULE AȘCHietoARE MONOBLOC PENTRU PRELUCRAREA ALEZAJELOR ADÂNCI DE DIAMETRE MICI

În acest capitol se prezintă tehnologia de fabricație a burghiilor pentru găuri adânci de diametre reduse din carburi metalice.

5.1. Generalități

Calitatea găurilor adânci se referă la dimensiuni, circularitate, rugozitate, rectilinitate, perpendicularitate, duritate. Cercetările realizate în sensul găuririi adânci au demonstrat că aceste caracteristici de calitate pot fi îndeplinite simultan în cazul prelucrării cu burghie pentru găuri adânci. Acest tip de burghie asigură, pe lângă prelucrarea în sine, și finisarea suprafeței găurii, nefiind, în general, necesară finisarea ulterioară, la diametre mai mici de 20 mm. [3]

5.2. Burghie pentru găuri adânci

5.2.1. Burghie pentru găuri adânci care așchiază din plin

5.3. Materiale pentru confecționarea burghiilor pentru prelucrarea găurilor adânci

Carbura de wolfram DK460UF, utilizată în cercetările noastre, este constituită, așa cum s-a arătat, din 91% WC și 9% Co. și este folosită în producția de scule așchietoare. Sculele așchietoare, care prelucrează în condiții speciale, legate de evacuarea așchiilor, de răcirea părții active, de reducerea eforturilor, cum sunt burghiile, care au lungime mare de tăiere și o rigiditate relativ mică, necesită specificații stricte în ceea ce privește prelucrarea, mașinile-unelte și echipamentele aferente utilizate. Multe dintre dezavantajele menționate pot fi îndepărtate prin fabricarea lor din această carbură DK460UF, oferindu-le o rezistență ridicată la uzură, precum și rezistență termică și mecanică. Rugozitatea suprafețelor active are un rol important în durabilitatea acestor scule. Calitatea suprafeței necesită o rugozitate redusă și o precizie de formă strictă.

5.4. Semifabricate utilizate la confecționarea burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici

5.4.1. Tipuri de semifabricate din carburi metalice

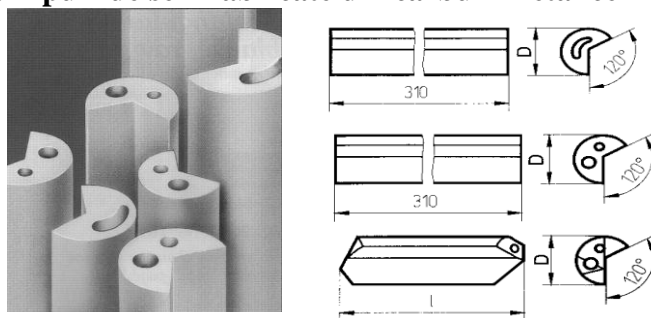


Fig. 5.4. Semifabricate pentru capete de burghie pentru găuri adânci cu orificii drepte și forme diverse pentru lichidul de răcire-ungere [124]

5.5. Mașini unelte cu comandă numerică utilizate la confecționarea și ascuțirea burghiilor pentru găuri adânci

5.5.1. ECOFLEX - Centru de rectificat cu 5 axe

5.5.2. Sharp Futura CNC5 – 5 axe

5.5.3. Proiectarea tehnologiei de execuție a sculelor așchietoare pentru prelucrarea alezajelor

5.6. Discurile abrazive

5.7. Prelucrarea prin abrazare a carburilor destinate fabricării burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici

5.7.1. Factorii care determină structura procesului de abrazare a carburilor destinate fabricării burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici

5.7.2. Factorii care exercită influență asupra calității suprafețelor burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici

5.7.3. Tehnologia de prelucrare a unui burghiu pentru găuri adânci de diametre mici

Modulul software „TOOLdefine” este creat special pentru a construi o sculă așchietoare cu geometrie nouă, care nu există în baza de date a aplicației.

Etape de construcție a sculei așchietoare cu ajutorul aplicației :

1. Alegerea tipului sculei așchietoare și a geometriei de bază pe care o va avea. Aceasta se va face într-o fereastră de selecție în cadrul căreia se optează pentru tipul de burghiu pentru găuri adânci. (fig. 5.20.)

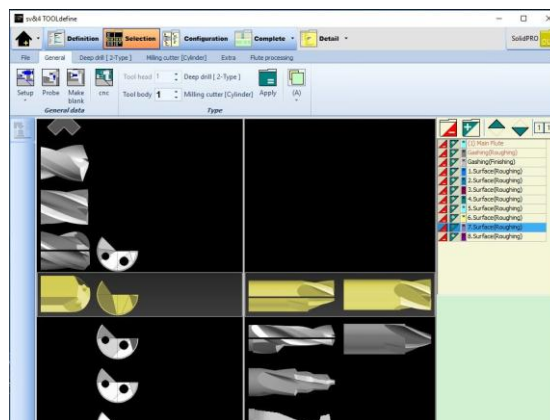


Fig. 5.20. Alegerea geometriei de bază a unui burghiu pentru găuri adânci

2. Introducerea datelor ce definesc geometria burghiului (fig. 5.21.)

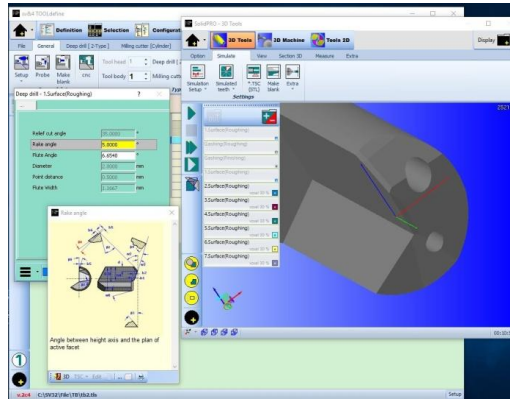


Fig. 5.21. Introducerea datelor ce definesc geometria burghiului

3. Alegerea discului abraziv (fig. 5.22.)

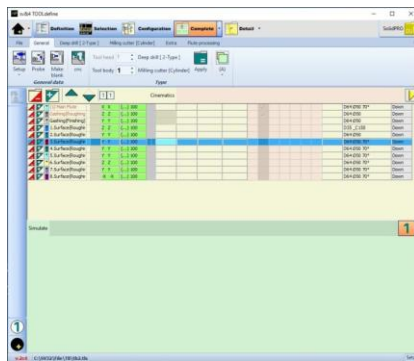


Fig. 5.22. Alegerea discului abraziv

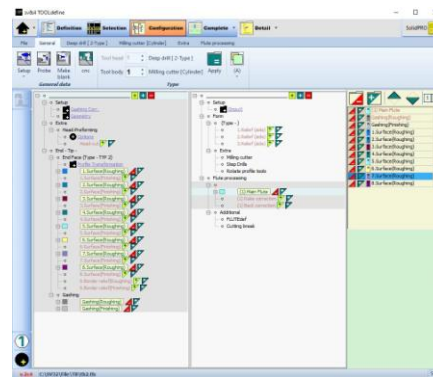


Fig. 5.23. Tehnologia de realizare și inițializări date suplimentare

4. Tehnologia de realizare

În figura 5.23. este reprezentată fereastra care conține tehnologia completă de realizare a sculei așchietoare.

5. Vizualizarea procesului de prelucrare

Modul software „SolidPRO” oferă posibilitatea vizualizării întregului proces tehnologic, pas cu pas.

În figura 5.24. se prezintă simularea procesului de prelucrare pe mașina unealtă cu comandă numerică.

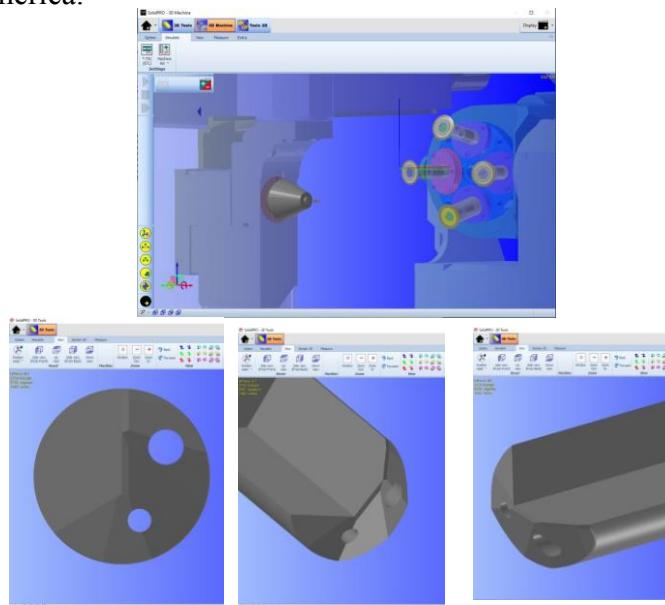


Fig. 5.24. Simularea procesului de prelucrare pe MUCN

6. Simularea cu ajutorul simulatorului tridimensional „3D – Collision” (fig. 5.25.)

O problemă importantă este coliziunea între subansamblurile în mișcare ale mașinii-unelte, a cărei apariție ar duce la distrugerii importante și la semnificative pagube materiale.

Se verifică în acest fel, pas cu pas, dacă se intersectează aceste traiectorii și se stabilesc punctele de coliziune, momentul exact când acestea apar și durata menținerii în coliziune, cât și rezolvarea situațiilor de coliziune.

No.	Opțiune	Ok	Collision	Ok	Collision
1	(1) Canal princ. ev. asch...	Ok	Collision	Ok	Collision
2	(1) Corectie tasi ca...	Ok	Ok	Ok	Collision
3	(2) Corectie tasi ca...	Ok	Collision	Ok	Collision
4	Degajare frontala D...	Ok	Ok	Ok	Ok
5	(1) 1 F Preluczi later...	Ok	Ok	Ok	Ok
6	(1) 2 F Preluczi later...	Ok	X	Ok	Testing
7	Fațeta frontala Deg...	X
8	Fațeta frontala Firms...	X

Fig. 5.25. Fereastra de calcul a coliziunii pe operații

Selectând acea etapă de operație se poate face apoi vizionarea „filmului coliziunii”.

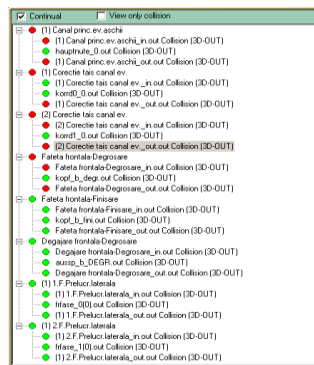


Fig. 5.26. Filmul coliziunilor în procesul tehnologic de prelucrare

No.	x1	x2	x3	x4	x5
0001	-8.000	40.953	-2.883	212.492	53.074
0002	6.000	47.677	-2.883	212.492	53.074
0003	6.000	55.000	-2.882	212.492	53.074
0004	-8.000	55.000	-2.883	212.492	53.074
0005	-10.101	55.000	4.131	212.492	49.952
0006	-12.426	55.000	11.728	212.492	46.831
0007	-15.952	55.000	19.936	212.492	43.708
0008	-17.608	55.000	28.395	212.492	40.586
0009	-19.361	55.000	37.232	212.492	37.464
0010	-18.178	55.000	46.574	212.492	34.342
0011	-17.028	55.000	56.044	212.492	31.220
0012	-14.988	55.000	65.663	212.492	28.098
0013	-11.739	55.000	75.362	212.492	24.976
0014	-7.568	55.000	85.027	212.492	21.854
0015	-2.370	55.000	94.607	212.492	18.732
0016	3.957	55.000	104.007	212.492	15.610
0017	11.106	55.000	113.143	212.492	12.488
0018	19.365	55.000	121.533	212.492	9.366
0019	28.618	55.000	130.292	212.492	6.244
0020	38.839	55.000	138.138	212.492	3.122
0021	50.000	55.000	145.391	212.492	0.000

Fig. 5.27. Ferestre de afișare a pașilor operației și de vizualizare a coliziunii pe pas

5.8. Concluzii

1. Studiul burghiilor pentru găuri adânci a scos în evidență caracteristicile necesare pentru a asigura o prelucrare eficientă a alezajelor și o durabilitate mare a sculei așchietoare.

2. Pentru creșterea productivității de burghie pentru găuri adânci se utilizează semifabricate care sunt prevăzute cu găuri pentru pătrunderea lichidului de răcire, ceea ce micșorează numărul de operații de prelucrare. Pentru obținerea unor scule așchietoare cu durabilitate ridicată se utilizează carburi metalice.
3. Elaborarea tehnologiei de prelucrare trebuie să țină cont de aspectele legate de material, de geometria burghiului și de echipamentul tehnologic care se utilizează.
4. Dezvoltarea aplicațiilor informatice a dus la reducerea timpului de proiectare a tehnologiei de prelucrare.
5. Cu ajutorul software "TOOLdefine" am proiectat tehnologia de execuție a unui burghiu pentru găuri adânci, iar cu ajutorul modulului software „*SolidPRO*” am vizualizat întregul proces tehnologic. Simulatoarele ajută la vizualizarea erorilor de proiectare, dar și informații privind existența situațiilor în care se pot produce coliziuni între elementele participante la procesul de abrazare.

6. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND PROCESUL DE ABRAZARE A CARBURILOR METALICE DE TIP DK460UF

6.1. Generalități

6.2. Proiectarea experimentului

6.2.1. Etapele proiectării experimentului

6.2.2. Definirea variabilelor experimentului în domeniul de studiu [39]

6.2.3. Alegerea nivelelor de variație pentru variabile independente

6.2.4. Realizarea planului de experimente

6.2.5. Clasificarea experimentelor

6.2.5.1. Planuri experimentale

6.2.5.2. Experimente factoriale

6.2.6. Analiza statistică a datelor experimentale

6.2.7. Determinarea modelului matematic al experimentului.

6.2.8. Decizii în urma modelării prin experiment factorial

6.2.9. Prezentarea software-ului Design-Expert V7.0.

6.3. Proiectarea cercetărilor experimentale în vederea monitorizării procesului de abrazare a carburilor metalice de tip DK460UF

Pentru proiectarea unui proces de abrazare optim pentru prelucrarea carburilor metalice în general și a burghiilor pentru găuri adânci, în particular, s-a plecat de la modelul general al procesului de abrazare, luând ca principali parametri de ieșire, calitatea suprafeței prelucrate și uzura discului abraziv.

6.3.1. Stabilirea factorilor ce vor fi monitorizați

6.3.2. Modelul cercetărilor experimentale realizate

În figura 6.5. este prezentat modelul cercetărilor experimentale. Pentru regimuri de așchiere diferite, prelucrând cu discuri abrazive de granulații diferite, se vor elabora modele ale forțelor de așchiere, temperaturii, uzurii și rugozității suprafețelor prelucrate. Modelele elaborate sunt utilizate pentru determinarea parametrilor optimi ai regimului de așchiere la prelucrarea suprafețelor active ale burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici.

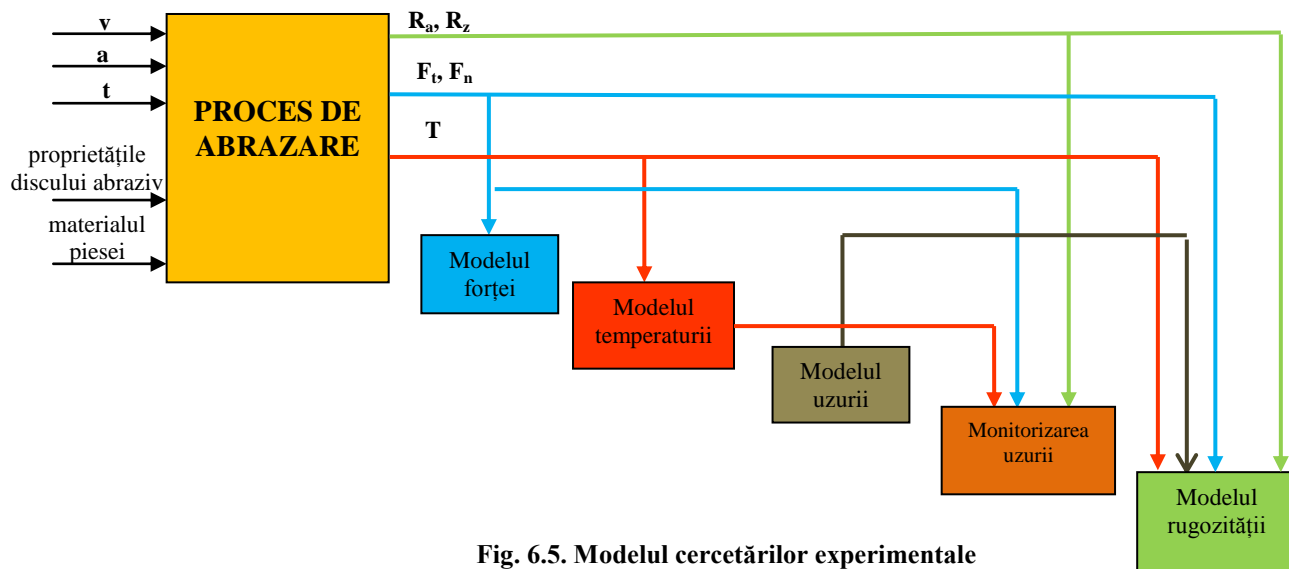


Fig. 6.5. Modelul cercetărilor experimentale

6.3.3. Stabilirea planului de experimente și nivelurile de variație a factorilor

În cadrul cercetărilor experimentale au fost realizate încercări în care parametrii regimului de așchiere și proprietățile discului abraziv sunt variați între limitele:

- viteza de așchiere, $v = 40 \div 60$ [m/s]
- avansul, $f = 0,005 \div 0,008$ [mm / rot]
- adâncimea de așchiere, $a_p = 0,01 \div 0,03$ [mm]
- granulația discului abraziv, $46 \mu\text{m}$, respectiv, $54 \mu\text{m}$

De asemenea, în cadrul cercetărilor experimentale s-a avut în vedere starea discului abraziv, respectiv gradul de uzură. Încercările s-au realizat atât cu discuri noi, cât și cu discuri uzate, astfel încât să se determine variația elementelor monitorizate ale procesului în funcție de principalii factori care influențează prelucrarea suprafețelor.

6.4. Studiul forțelor în procesul de abrazare a carburii DK460UF

6.4.1. Alegerea tipului de experiment

Forța de abrazare va fi studiată prin prisma celor 2 componente, forța tangențială și forța normală, cu rol semnificativ în desfășurarea procesului de abrazare.

În urma analizei efectuate asupra procesului, s-a optat pentru modelarea prin experiment factorial complet de tip 2^3 . Experimentul factorial s-a utilizat pentru modelarea fiecărei componente.

6.4.2. Proiectarea experimentului și realizarea măsurătorilor

Experiențele au fost efectuate pe mașină de rectificat plan. S-a prelucrat epruvetă prismatică din carbură metalică DK460UF, ale cărei dimensiuni sunt $20 \times 50 \times 100$ mm, cu durezza de 1620 HV, dimensiunea granulelor fiind de $0.5 \mu\text{m}$ (6.7.).

S-au utilizat 2 discuri abrazive cu granule de diamant, cu următoarele caracteristici:

Discul 1: D54 – diametru de 250 mm, lățimea de 10 mm, granulație de $54 \mu\text{m}$.

Discul 2: D54 – diametru de 180 mm, lățimea de 10 mm, granulație de $54 \mu\text{m}$.

Pentru măsurare s-a folosit dinamometrul Kiestler. (fig. 6.10.)



Fig. 6.6. Mașina de rectificat plan



Fig. 6.7. Carbură metalică DK460UF



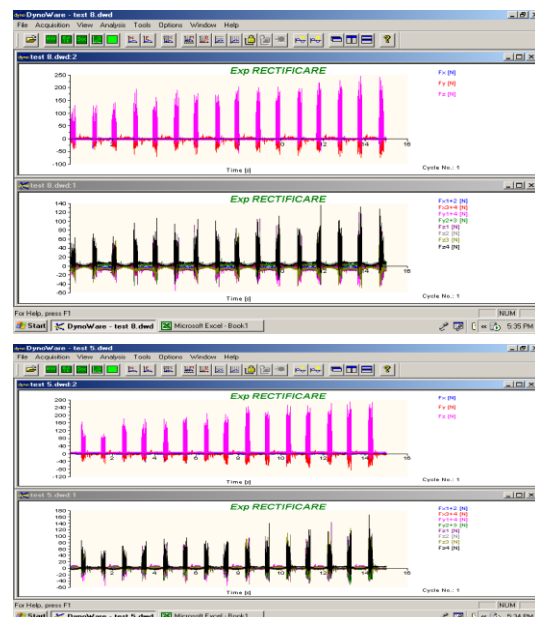
Fig. 6.10. Instalația de măsurare cu dinamometrul Kistler 9255B

Tabel 6.1. Nivelele de variație ale factorilor de influență și coordonatele punctului central al experimentului pentru componenta F_t , F_n

Parametru	Valoare codificată	Valoare fizică		
		$x_1 \leftrightarrow v$ [m/s]	$x_2 \leftrightarrow f$ [mm/cursă]	$x_3 \leftrightarrow a_p$ [mm]
Punct central, x_{j0}	0	43	0.2	0.02
Interval de variație, D_j	Δ_j	7	0.05	0.01
Nivel superior, x_{jsup}	+1	50	0.25	0.03
Nivel inferior, x_{jinf}	-1	36	0.15	0.01

Tabelul 6.2. Valorile măsurate ale forțelor de așchiere la prelucrarea cu discuri noi

Nr crt.	Viteza v [m/s]	Avansul f [mm/cursă]	Adâncimea de așchiere a_p [mm]	F_t [N]	F_n [N]
1	50.000	0.250	0.01	45.860	98.480
2	36.000	0.150	0.01	29.260	76.860
3	36.000	0.250	0.03	50.530	107.410
4	36.000	0.150	0.03	48.070	95.230
5	50.000	0.150	0.01	19.210	65.050
6	50.000	0.250	0.03	37.670	77.540
7	36.000	0.250	0.01	41.420	91.480
8	50.000	0.150	0.03	27.350	79.670



a) $f=0,15$ mm/cursa, $a_p=0,01$ mm

b) $f=0,15$ mm/cursa, $a_p=0,03$ mm

Fig. 6.11. Valorile componentelor forței de așchiere în raport cu a_p , $v=50$ m/s

6.4.3. Construcția matricii-program a experimentării

După cum s-a precizat, este suficientă variația factorilor pe două nivele, rezultând volumul maxim al experimentării $N=2^k$.

6.4.4. Determinarea modelului matematic al experimentului și analiza lui

$$F_t = -250.36 + 14.68 \cdot v - 732.80 \cdot f + 1720.55 \cdot a_p - 4.17 \cdot v \cdot f - 42.61 \cdot v \cdot a_p + 5472.40 \cdot f \cdot a_p - 0.15 \cdot v^2 + 1902.84 \cdot f^2 - 25253.38 \cdot a_p^2 \quad (6.14)$$

$$F_n = -1011.32 + 59.92 \cdot v - 3229.46 \cdot f + 8192.85 \cdot a_p - 17.41 \cdot v \cdot f - 196.99 \cdot v \cdot a_p + 19706.19 \cdot f \cdot a_p - 0.60 \cdot v^2 + 8470.21 \cdot f^2 - 101153 \cdot a_p^2 \quad (6.15)$$

Influențele fiecărui parametru și adecvanța modelului se determină aplicând analiza ANOVA asupra modelelor de forțe obținute. (fig. 6.16).

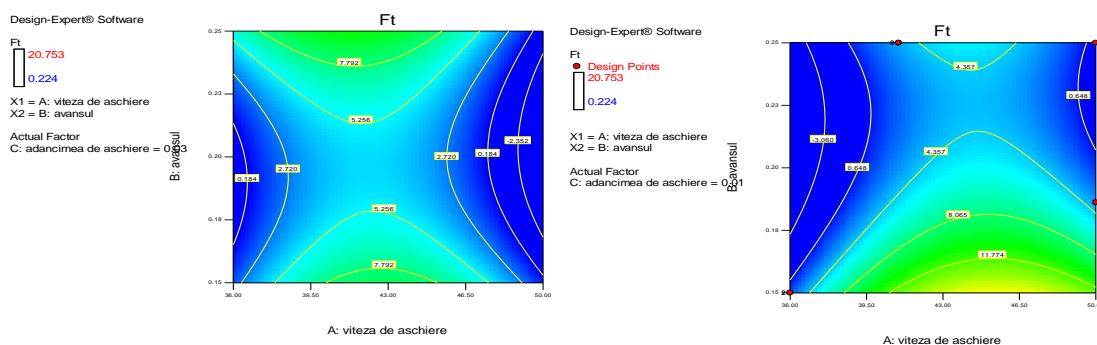


Fig. 6.16. Variația forței F_t în raport cu parametrii regimului de aşchiere

Componenta tangențială a forței de aşchiere este dependentă de parametrii regimului de aşchiere. Se observă că, ea depinde de viteza de aşchiere, de adâncimea de aşchiere și de avans.

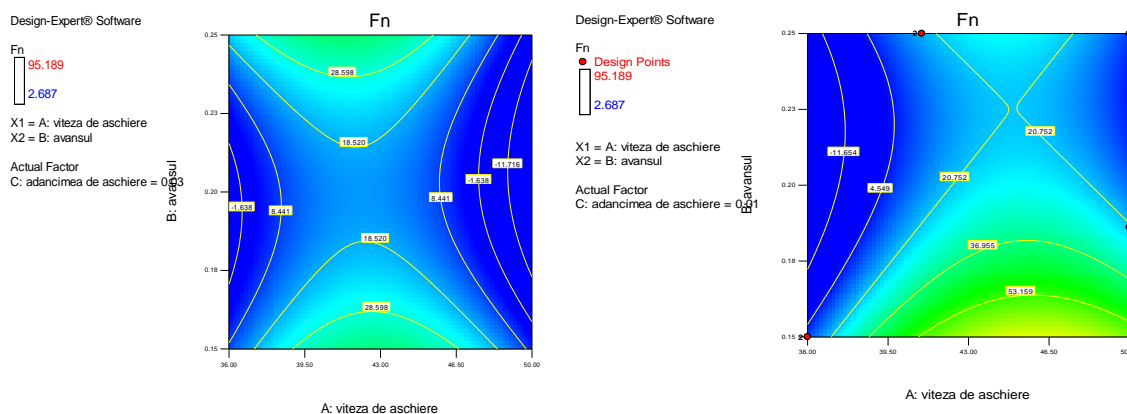


Fig. 6.19. Variația forței F_n în raport cu parametrii regimului de aşchiere

Componenta normală a forței de abrazare este influențată de parametrii regimului de aşchiere, variațiile fiind mai semnificative decât în cazul componentei tangențiale

6.4.5. Variația forțelor în raport cu gradul de uzură al discului abraziv

6.4.5.1. Definirea obiectului cercetării

Experimentul urmărește influența uzurii radiale a discului abraziv asupra forței de aşchiere.

6.4.5.2. Alegerea funcției obiectiv

Funcțiile obiectiv sunt componentele forței de abrazare, respectiv, forța tangențială și forța normală.

6.4.5.3. Planificarea experimentelor și achiziția datelor

Cu discul abraziv D54P150/A-C100 s-au prelucrat loturi de câte 50 de piese din carbură metalică DK460UF, până la apariția uzurii catastrofale. După fiecare 50 de piese prelucrate s-a măsurat uzura radială a discului și apoi forța de abrazare. Regimul de așchiere utilizat a fost: $v = 55$ m/s, $f = 0.005$ mm/rot, $a_p = 0.01$ mm.

Măsurarea uzurii radiale s-a realizat cu mașina de măsurat Walter Helicheck Basic Optical CNC. (fig.6.32), iar forțele au fost măsurate cu dinamometrul Kiestler (fig. 6.10).

În tabelul 6.4 sunt trecute valorile măsurate ale componentelor forței de așchiere la prelucrarea cu discul abraziv la diferite grade de uzură, în funcție de numărul de piese prelucrate.

Tabelul 6.4.

Nr. buc.	Variația razei [μm]	F_t disc uzat [N]	F_{ndisc} uzat [N]
50	4.25	50.35	100.50
100	7.75	56.26	110.42
150	9.45	62.34	127.54
200	11.50	65.67	144.52
250	15.70	72.25	173.65
300	18.75	80.25	185.80
350	22.30	88.30	197.65
400	27.20	94.55	235.43
450	34.75	101.44	286.88
500	41.80	109.15	328.95
550	56.40	116.35	355.67
600	64.20	150.45	412.75
650	78.60	227.35	532.42
700	90.30	291.05	600.45
750	100.42	347.35	755.20
800	108.30	502.65	900.45

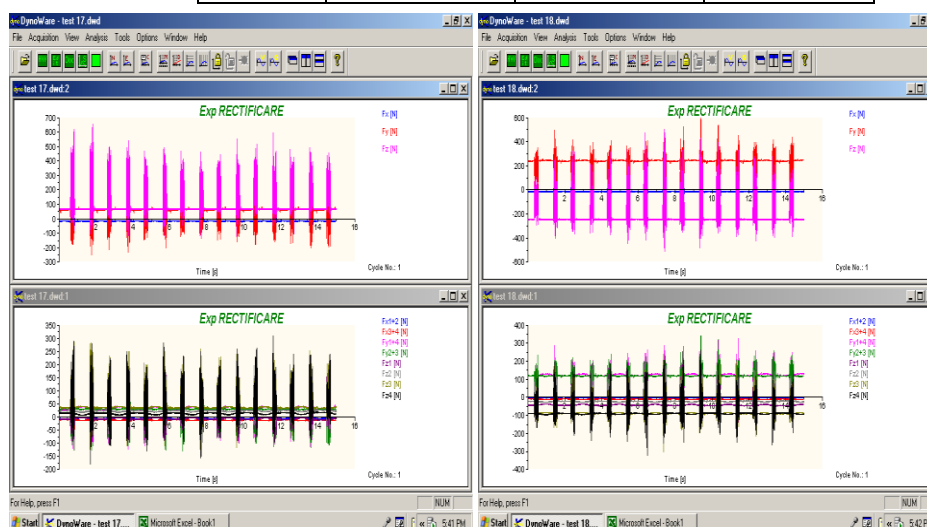


Fig. 6.22. Valorile măsurate ale forțelor de așchiere la prelucrarea cu discul uzat.

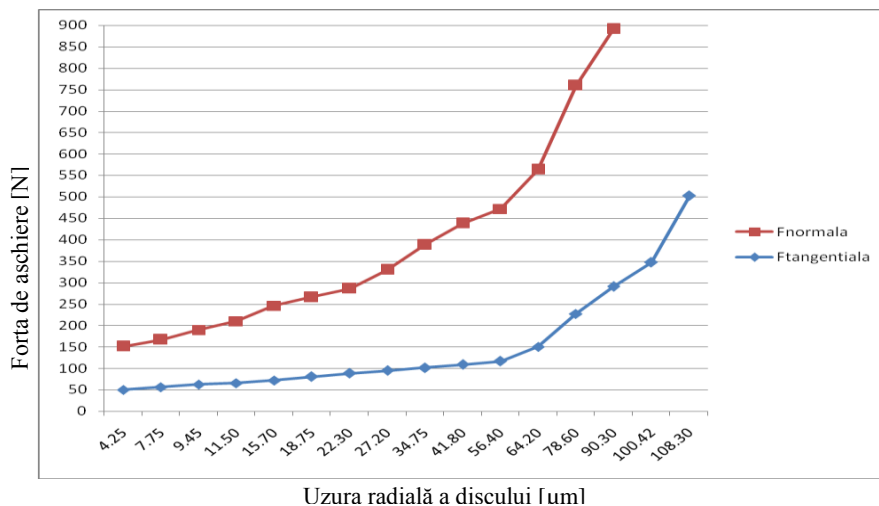


Fig. 6.23. Variația componentelor forței de așchiere în raport cu uzura pe rază a discului abraziv

Se observă că atât forța tangențială cât și forța normală cresc odată cu creșterea gradului de uzură a discului abraziv. Forța tangențială are o creștere mai lentă, comparativ cu forța normală, a cărei creștere este mai semnificativă.

6.4.6. Concluzii

Parametrii independenți, adâncimea de așchiere, avansul, gradul de uzură pe rază a discului abraziv și viteza de așchiere, influențează atât F_t cât și F_n .

- ✚ Pentru viteza constantă de 36 m/s, și o creștere a avansului de la 0.15 mm/cursă la 0.25 mm/cursă se înregistrează o creștere a componentelor normală și tangențială ale forței de așchiere;
- ✚ La viteza constantă de 50 m/s și la aceeași variație a avansului de la valori mici la valori mai mari, se observă o creștere a componentelor normală și tangențială;
- ✚ La creșterea adâncimii de așchiere, de la 0.01 mm la 0.03 mm, forțele normală și tangențială cresc datorită creșterii grosimii așchii nedeformate;
- ✚ Experimentele au demonstrat ca la o creștere doar a avansului, gradientul de creștere al forțelor este mic;
- ✚ La viteze mari și avansuri mici forța se micșorează.
- ✚ Uzura discului abraziv are o influență semnificativă asupra valorilor componentelor forței de abrazare.
- ✚ Având cunoștință de modul în care parametrii regimului de așchiere influențează mărimea forțelor, acest parametru de proces poate fi controlat. Se recomandă regimuri de așchiere cu avansuri mici și viteze mari.

6.5. Studiul temperaturii în procesul de abrazare a carburii DK460UF

6.5.1. Studiul temperaturii cu ajutorul INFRARED CAMERAS

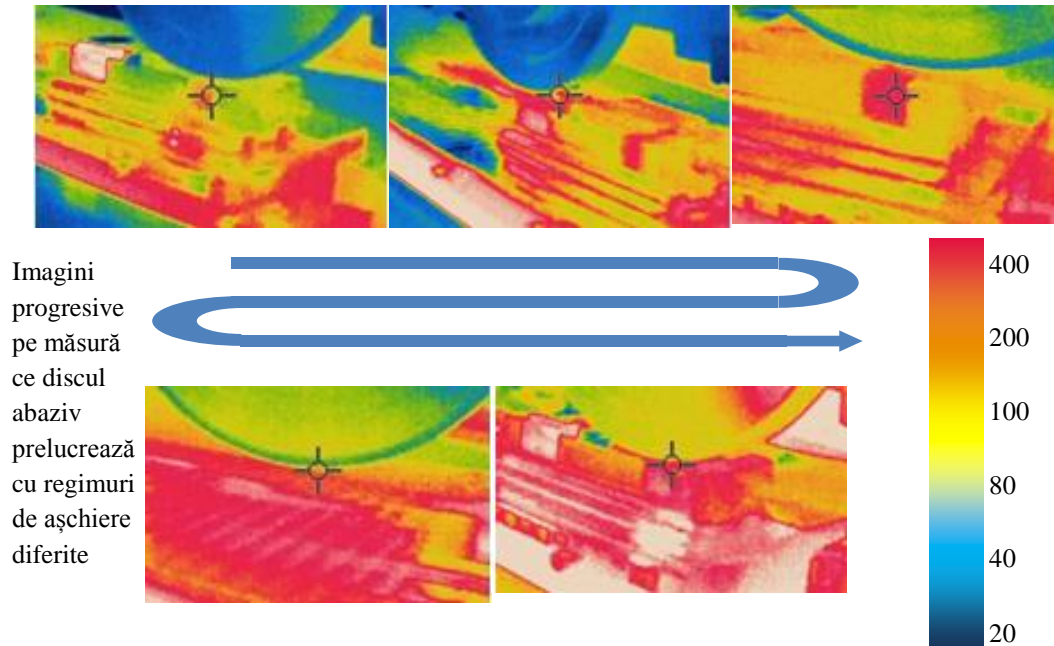


Fig. 6.25. Rezultatele imagisticii redade de IR CAMERA

În figura 6.25., imaginile arată creșterea temperaturii în zona de contact, odată cu creșterea vitezei de aşchiere. La creșterea vitezei de aşchiere, dar la o adâncime constantă, variația fluxului de temperatură este semnificativă.

6.5.2. Studiul temperaturii la abrazarea carburii DK460UF utilizând termocuplul natural carbură - cupru



Fig. 6.27. Stand pentru etalonarea termocuplului

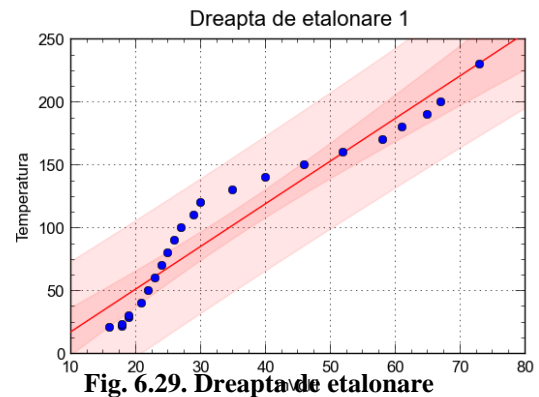


Fig. 6.29. Dreapta de etalonare

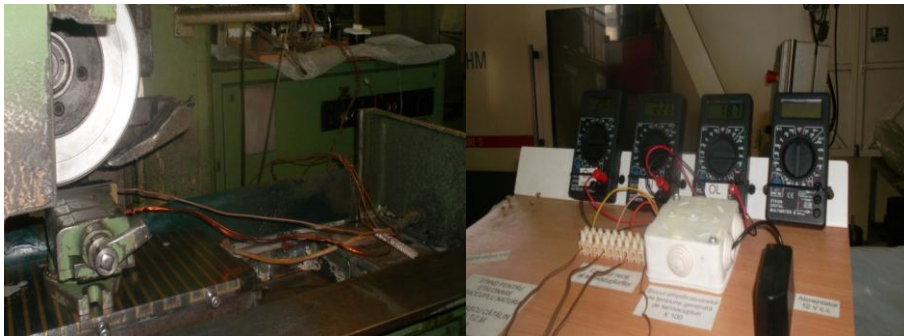


Fig. 6.30. Instalatia de măsurare cu termocuplu de tip K

Rezultatele obținute în urma măsurărilor se găsesc în tabelul de mai jos :

Tabelul 6.6

Nr. crt.	Viteza v [m/s]	Avansul f [mm/rot]	Adancimea de aschiere a_p [mm]	Tensiunea U [mV]	Temperatura T [$^{\circ}$ C]
1.	25	0.15	0.015	30.1	174
2.	25	0.15	0.025	52.6	310
3.	25	0.25	0.015	42.7	260
4.	25	0.25	0.025	53.5	325
5.	40	0.15	0.015	33.6	200
6.	40	0.15	0.025	57.8	350
7.	40	0.25	0.015	37.4	240
8.	40	0.25	0.025	67.8	470

Modelul matematic

$$T = -114.62393 + 5.91106 * v + 390.67935 * f + 5841.43702 * a_p \quad (6.18)$$

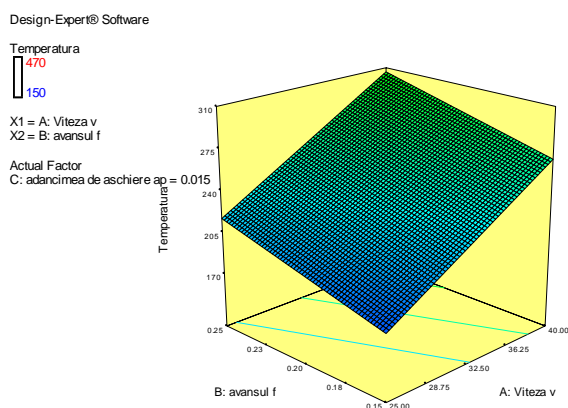


Fig. 6.32. Variația temperaturii în raport cu v și f $a_p = 0.015\text{mm}$

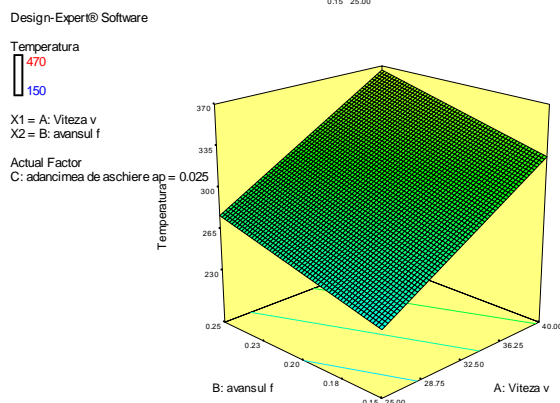


Fig. 6.33. Variația temperaturii în raport cu v și f $a_p = 0.025\text{mm}$

6.5.3. Concluzii

- Parametrii independenți, adâncimea de așchiere, avansul și viteza de așchiere, influențează cantitatea de căldură dezvoltată în timpul prelucrării.
- Influența vitezei de așchiere asupra temperaturii, este semnificativă, corelată și cu alți parametri. Astfel, creșterea temperaturii în raport cu creșterea vitezei este mare la un avans mai mare și creșterea este mai redusă dacă avansul este mai mic.
- În domeniul vitezelor uzuale, datorită creșterii temperaturii în zona plastică, dispar aderările de material sau se diminuează și nivelul forțelor se reduce datorită micșorării deformațiilor și frecărilor.
- Creșterea temperaturii este determinată și de uzura discului abraziv și poate fi considerată un indicator indirect al uzurii.

- ✚ Cunoașterea temperaturii de abrazare este importantă în aprecierea stării fizico - chimice a suprafeței prelucrate, dar și a stratului subprelucrat.
- ✚ Pe de altă parte, având cunoaștința de modul în care parametrii regimului de așchiere influențează cantitatea de căldură, acest parametru de proces poate fi controlat.

6.6. Uzura discului abraziv la prelucrarea carburii DK460UF

Experimentul are ca scop studiul uzurii discului abraziv cu granulații diferite în funcție de numărul de reperi prelucrate și volumul de material îndepărtat. De asemenea se impune un studiu privind uzura discului abraziv în raport cu volumul de material îndepărtat.

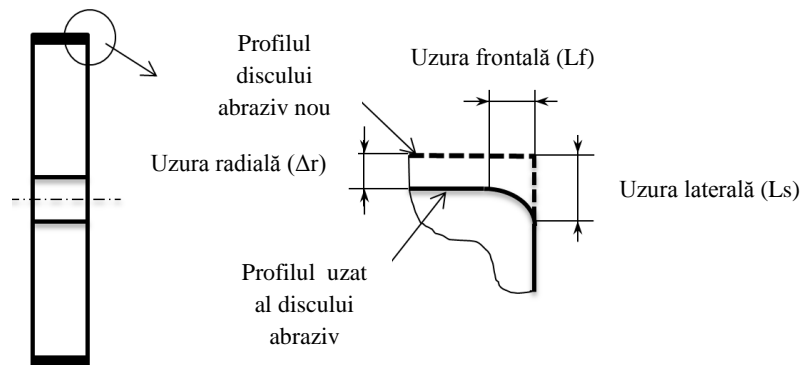


Fig. 6.39. Parametrii estimativi ai uzurii discului abraziv

Principali parametri care estimează uzura discului abraziv sunt prezentați în figura 6.30.:

- uzura radială (Δr);
- uzura colțului.

6.6.1. Proiectarea experimentului

Uzura discului abraziv a fost monitorizată în procesul de ascuțire a burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici (în intervalul 2.025 - 2.5 mm). Burghiile au fost ascuțite pe o mașină unealtă Walter Helitronic Minipower. (fig. 6.40.)

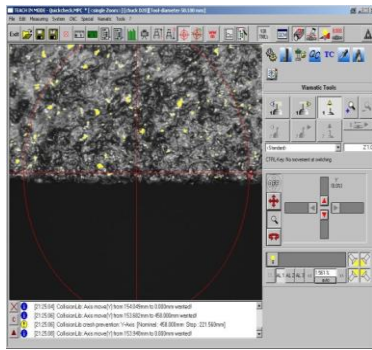
Fiecare burghiu a fost prelucrat pe 5 suprafețe diferite, pentru a obține suprafața activă. Pentru prelucrări s-au utilizat discuri abrazive cu granulație de 46 μm și de 54 μm .



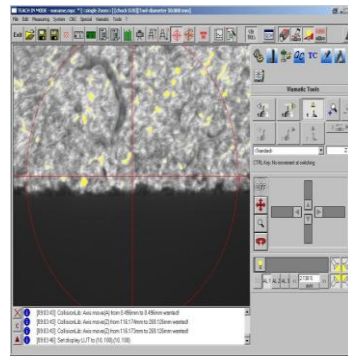
Fig. 6.40. Mașina de abrazat Walter Helitronic Minipower (SC COMPA SA)



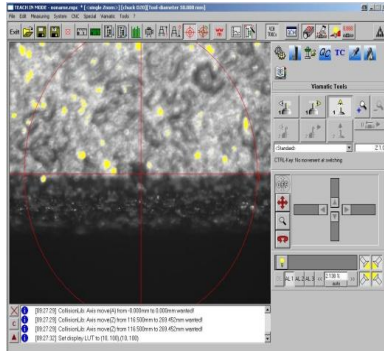
Fig. 6.41. Walter Helicheck Basic Optical CNC (SC COMPA SA)



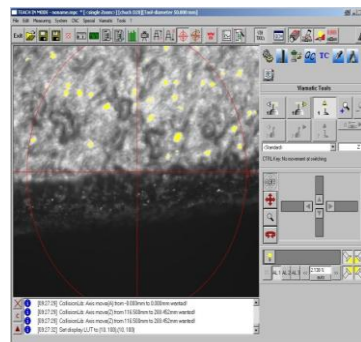
a)



b)

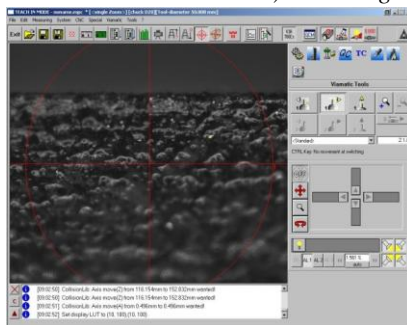


c)

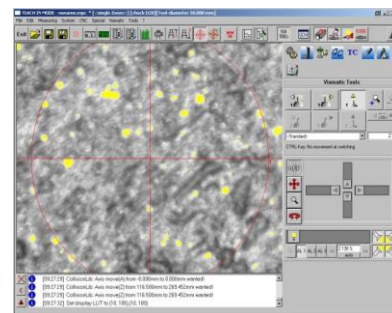


d)

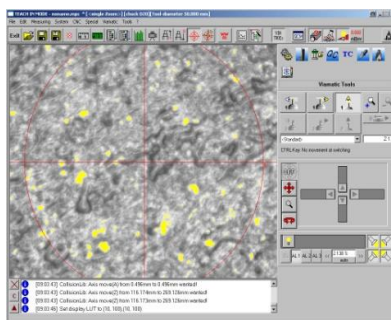
Fig. 6.42. Suprafața și profilul discului abraziv D54 după prelucrarea a:
a) 100 burghie b) 200 burghie c) 400 burghie d) 600 burghie



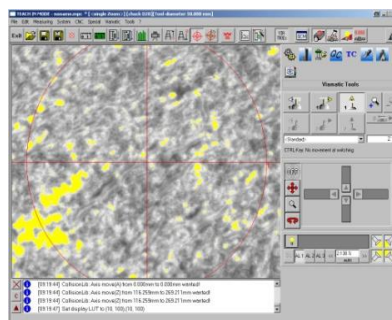
a)



b)



c)



d)

Fig. 6.43. Evoluția dislocărilor la discul abraziv D54 după prelucrarea a:
a) disc nou b) 200 burghie c) 400 burghie d) 600 burghie

În figura 6.43. se observă că odată cu creșterea uzurii profilului, și numărul dislocărilor crește (granulele abrazive de diamant parăsc discul abraziv - petele luminoase din imagini).

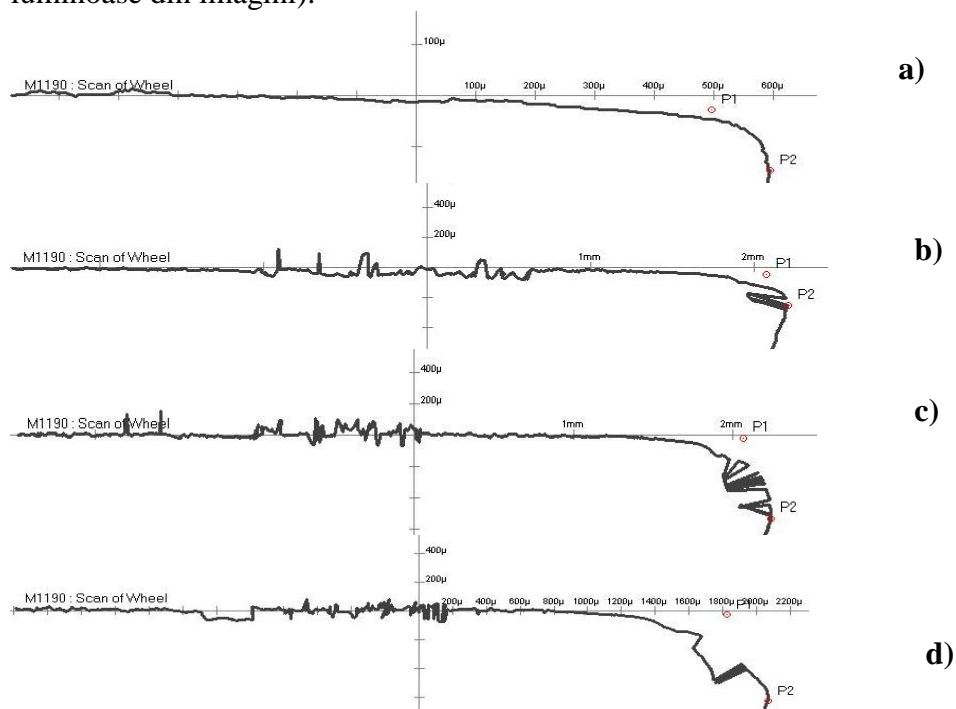


Fig. 6.44. Uzura profilului discului abraziv cu granulația de 54 μm : a) - profilul discului neutilizat; b) - profilul discului după ascuțirea a 300 de burghie; c) - profilul discului după ascuțirea a 600 de burghie; d) - profilul discului după ascuțirea a 800 de burghie

6.6.2. Desfășurarea experimentului

Pentru măsurarea uzurii profilului discurilor abrazive, acestea au fost monitorizate pe eșantioane de câte 100 de repere. Pentru măsurare s-a utilizat mașina de măsurat Walter Helicheck Basic Optical CNC. (fig.6.41).



Fig. 6.41. Walter Helicheck Basic Optical CNC (SC COMPA SA)

6.6.3. Prelucrarea datelor experimentale

Uzura profilului discului abraziv a fost măsurată după procesarea unui eșantion de 100 de burghie. Uzura catastrofală a fost considerată atunci când uzura radială este de 0,1 mm.

Tabelul 6.7.

Numărul de burghie ascuțite pentru găuri adânci de diametre mici	Volumul de material îndepărtat [mm ³]	Uzura radială a discului abraziv cu granulația de 46 μm (Δr) [μm]	Uzura radială a discului abraziv cu granulația de 54 μm (Δr) [μm]	Uzura profilului discului abraziv cu granulația de 46 μm [μm]	Uzura profilului discului abraziv cu granulația de 54 μm [μm]
0		0.00	0.00	0	0
100	102	5.24	7.75	27.04	32.56
200	204	8.30	11.50	43.16	43.52
300	306	16.34	21.75	115.23	92.53
400	408	28.56	32.20	167.81	138.56
500	510	43.12	48.80	224.57	227.82
600	612	54.76	64.20	281.32	337.86
700	714	68.05	90.30	351.71	469.63
800	816	79.37	115.00	408.73	587.79
900	918	93.17		482.52	
1100	1122	112.4		568.34	

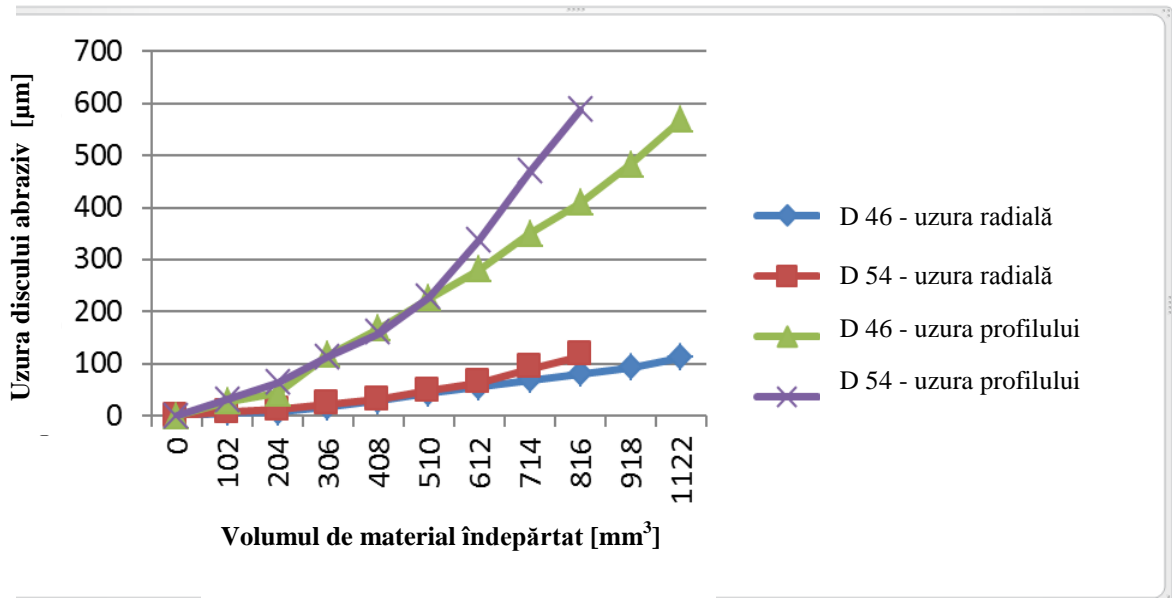
**Fig. 6.45. Variația uzurii radiale și a profilului discurilor abrazive cu diferite granulații**

Figura 6.46. reprezintă variația "G-ratio" în raport cu volumul de material îndepărtat la prelucrarea prin abrazare cu discuri de diferite granulații. Valorile "G-ratio" sunt în general mici, de obicei între 6.5 și 10, pentru suprafețe întinse ale materialelor greu prelucrabile, iar în cazul suprafețelor reduse, cum sunt cele ale burghiilor de găuri adânci de diametre mici, este de 5.4, respectiv 4, pentru discurile cu granulații de 46 μm, respectiv 54 μm.

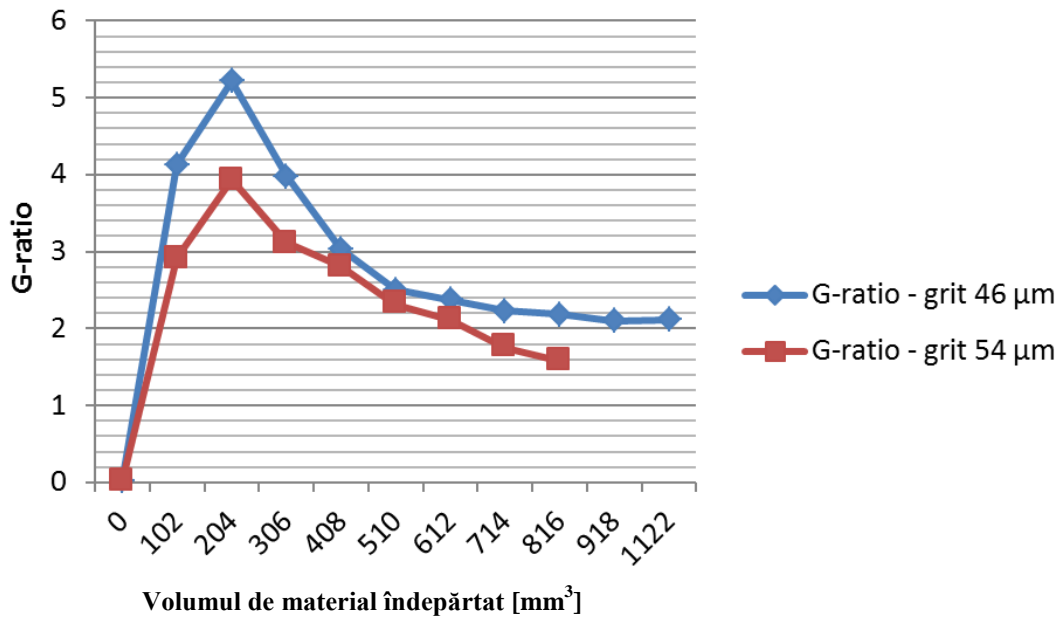


Fig. 6.46. Variația "G-ratio" în raport cu volumul de material îndepărtat la prelucrarea cu discuri abrazive cu diferite granulații

În figura 6.47. a) se prezintă structura discului abraziv D 46 nou, b) arată structura aceluiași disc cu uzura radială de 43.12 μm.

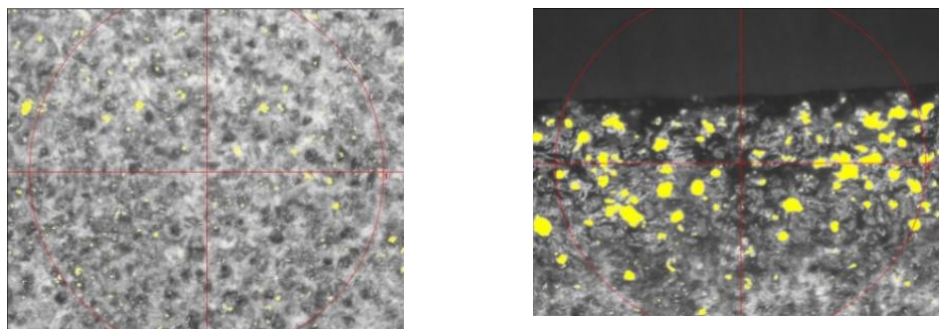


Fig. 6.47. - Structura discului abraziv: a) discul abraziv înainte de utilizare b) discul abraziv cu o uzură radială = 43.12 μm (SEM imagine 1500 x mărire)

6.6.4. Concluzii

În urma studiului întreprins asupra uzurii discului abraziv, se poate concluziona:

- Analizând curbele de uzură, se observă că discurile abrazive cu granulație mai mare se uzează mai repede.
- Performanța discului abraziv este caracterizată de o valoare mare a lui "G-ratio". Datorită suprafețelor mici ale burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici, cu numeroase muchii și goluri, o ipoteză pentru studiul realizat este aceea că "G-ratio" este mic.
- Studiul arată că "G-ratio" descrește odată cu uzura discului abraziv.
- Prelucrarea suprafețelor mici, cu muchii așchietoare și goluri, se face cu dificultate, comparativ cu suprafețele mai mari. Discurile abrazive sunt supuse șocurilor, ceea ce determină o uzură pronunțată a acestora.
- Din punct de vedere al granulației, "G-ratio" este mai mare la utilizarea discurilor cu granulații mici, ceea ce implică un proces mai eficient. Discurile cu granulații mici sunt preferate la prelucrarea suprafețelor burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici.

6.7. Măsurarea rugozității suprafeței

6.7.1. Definirea obiectului cercetat

Pentru a determina rugozitatea suprafeței prelucrate prin abrazare a carbunii DK460UF utilizată la fabricarea burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici, se urmărește obținerea unui model experimental. În urma analizelor preliminare făcute, s-a optat pentru modelarea prin experiment factorial complet, de tipul 2^4 .

Funcțiile obiectiv sunt R_z , R_a .

6.7.2. Proiectarea experimentului

Prelucrarea epruvetelor rectangulare de carbură metalică DK460UF, de dimensiuni 20 x 50 x 100 mm s-a realizat pe mașina cu comandă numerică HAWEMAT 3000 (fig.6.48.), cu discuri abrazive cu granulații diferite, 46 μm , respectiv, 56 μm de diametre 150 mm și 180 mm, lățimea de 10 mm. S-a utilizat ca mediu de răcire emulsie de apă și ulei 5%, PETROFERSUPERFIN, la o presiune de 1 MPa, potrivită pentru calitatea superioară a suprafețelor prelucrate cu discuri abrazive de diamant.



Fig. 6.48. CNC HAWEMAT 3000 (GUHRING SRL)



Fig. 6.49. Rugozimetrul MITUTOYO

Tabelul 6.9. Intervalele de variație ale factorilor

Parametrul		Valorile Nivele	
Real	Codificat	- 1	+ 1
viteza de așchiere, v [m/s]	X_1	40	55
avansul, f [mm/rot]	X_2	0,005	0,008
adâncimea de așchiere, a_p [mm]	X_3	0,01	0,03
granulație [μm]	X_4	46	54

Matricea-program a experimentului factorial 2^4 este realizată de programul Design Expert.

Tabelul 6.10. Matricea-program a experimentului factorial 2⁴

Nr.	Granulația discului [μm]	Viteza v [m/s]	Avansul f [mm/rot]	Adâncimea de așchiere a _p [mm]	Rugozitatea R _a [μm]	Rugozitatea R _z [μm]
1	46	40	0.005	0.03	0.126	0.504
2	46	55	0.005	0.03	0.113	0.452
3.	46	40	0.008	0.03	0.142	0.568
4.	46	55	0.008	0.03	0.132	0.532
5.	46	40	0.005	0.01	0.063	0.290
6.	46	55	0.005	0.01	0.057	0.228
7.	46	40	0.008	0.01	0.084	0.328
8.	46	55	0.008	0.01	0.077	0.316
9.	54	40	0.005	0.03	0.139	0.572
10	54	55	0.005	0.03	0.128	0.512
11	54	40	0.008	0.03	0.156	0.645
12	54	55	0.008	0.03	0.150	0.597
13	54	40	0.005	0.01	0.072	0.342
14	54	55	0.005	0.01	0.065	0.276
15	54	40	0.008	0.01	0.095	0.381
16	54	55	0.008	0.01	0.087	0.362

Prin aplicarea regresiei polinomiale multiple s-a obținut relația pentru aprecierea rugozității, cu

$$R_a = -0.0484 + 3.0375 \cdot a_p + 6.6667 \cdot f + 1.5313 \cdot 10^{-3} \text{ grit} - 5.6667 \cdot 10^{-4} \cdot v \quad (6.21)$$

$$R_z = -0.2179 + 11.98 \cdot a_p + 20.625 \cdot f + 8.047 \cdot 10^{-3} \text{ grit} - 2.54 \cdot 10^{-3} \cdot v \quad (6.22)$$

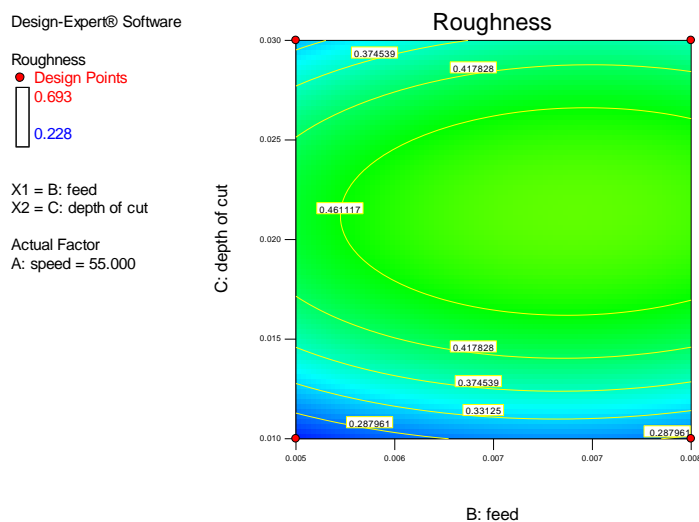


Fig. 6.57. Variația rugozității în raport cu f, a_p, v = 55 m/s (D46VB4P/A)

Din punct de vedere al aspectului suprafeței prelucrate, acesta s-a vizualizat cu ajutorul microscopului electronic. Imaginile obținute cu ajutorul microscopului electronic completează rezultatele obținute prin măsurători.



Fig. 6.64. Microscopul electronic (Institut Français de Mécanique Avancée- Laboratoire Casimir)

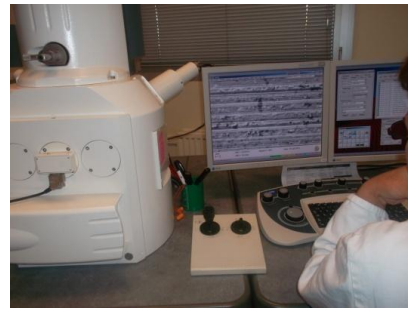
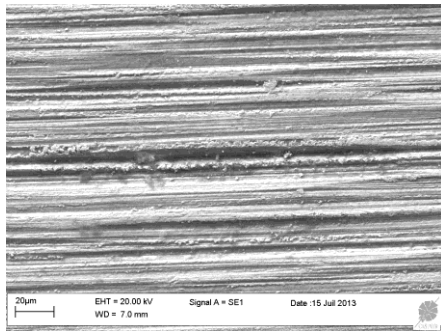
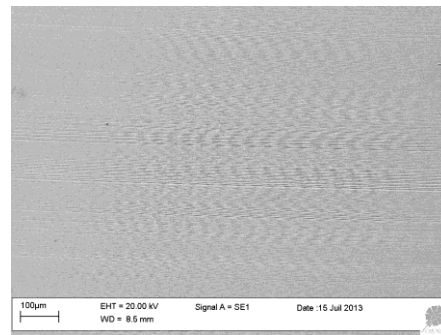


Fig. 6.67. Preluarea imaginilor

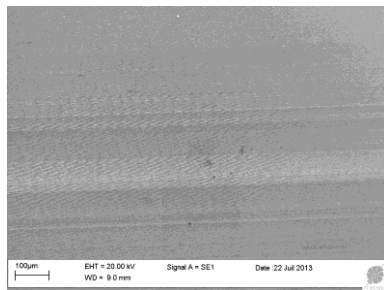


a) Suprafața înainte de prelucrare

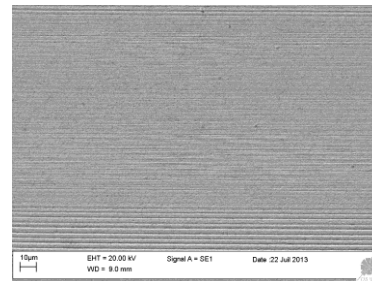


b) Suprafata prelucrata $v=55\text{m/s}$, $f=0.005\text{ mm/rot}$, $a_p = 0.01\text{mm}$

Fig. 6.68. Imagini SEM ale suprafețelor prelucrate cu discul abraziv D46VB4P/A



a) Suprafața înainte de prelucrare



b) Suprafata prelucrata $v=55\text{m/s}$, $f=0.005\text{ mm/rot}$, $a_p=0.01\text{mm}$

Fig. 6.69. Imagini SEM ale suprafețelor prelucrate cu discul abraziv D54P150/A-C100

6.7.3. Desfășurarea experimentului

În cadrul cercetărilor experimentale au fost realizate încercări în care parametrii regimului de aşchiere și granulațiile au ca domenii de variație:

- viteza de aşchiere, $v = 40 \div 60$ [m/s]
- avansul, $f = 0,005 \div 0,008$ [mm / rot]
- adâncimea de aşchiere, $a_p = 0,01 \div 0,03$ [mm]
- granulația de la $46\ \mu\text{m}$ la $54\ \mu\text{m}$

6.7.4. Variația rugozității în raport cu uzura discului abraziv

Rugozitatea este influențată de uzura discului abraziv. Pentru studiu, se consideră regimul de aşchiere optim în cazul prelucrării cu discuri abrazive noi, astfel: viteza de aşchiere $v = 55\text{ m/s}$, avansul $f = 0.005\text{ mm/rot}$ și o adâncimea de aşchiere $a_p = 0.01\text{ mm}$.

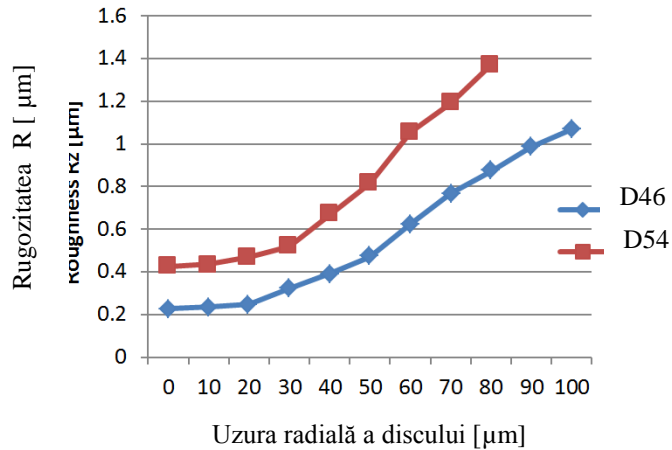


Fig. 6.70. Variația rugozității în raport cu uzura radială a discului abraziv

Suprafețele prelucrate cu discuri abrazive uzate au fost examinate și cu microscopul electronic. Imaginile preluate cu SEM sunt prezentate în figura 6.62. Se observă că fiecare formă de uzură a discului determină defecte majore ale suprafețelor prelucrate.

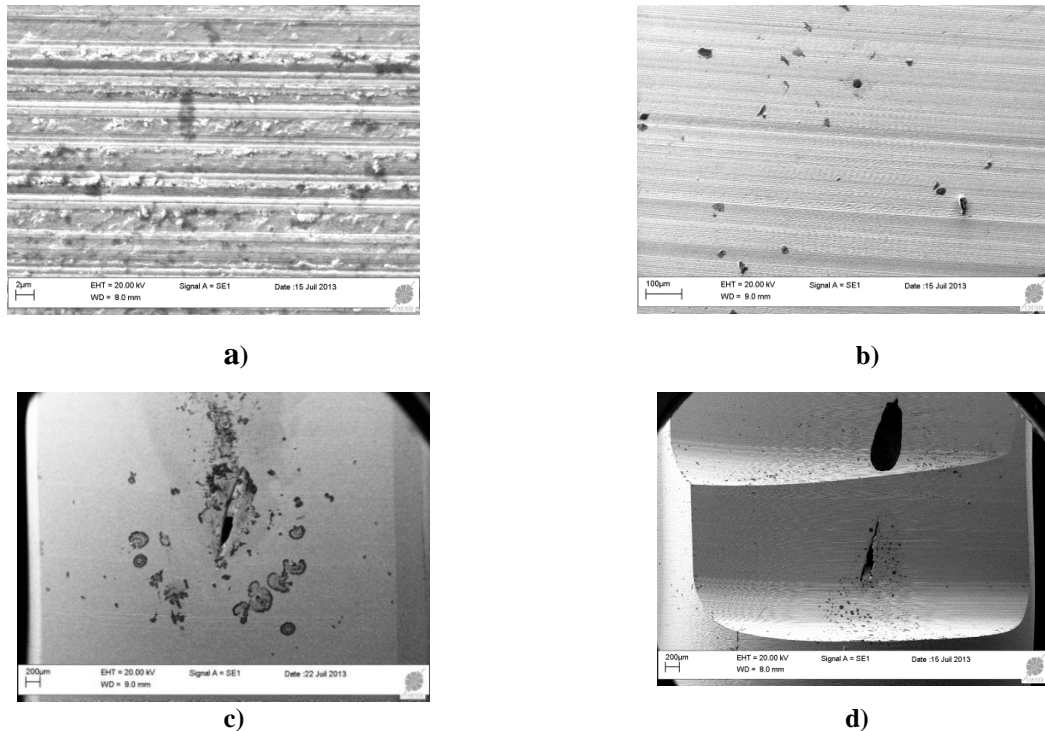


Fig. 6.71. Suprafețe prelucrate cu discuri abrazive uzate:

a) Abrazare cu disc abraziv D46VB4P/A cu granulație de $46 \mu\text{m}$, cu o uzură radială $\Delta r = 34.75 \mu\text{m}$, $a_p=0.03 \text{ mm}$, $f=0.008 \text{ mm/rev}$, $v=55 \text{ m/s}$, roughness $R_z = 1.192 \mu\text{m}$. Uzura radială a cauzat o rugozitate mare.

b) Abrazare cu disc abraziv D46VB4P/A cu granulație de $46 \mu\text{m}$, îmbâcsit, $a_p=0.01 \text{ mm}$, $f=0.005 \text{ mm/rev}$, $v=40 \text{ m/s}$, roughness $R_z = 0.972 \mu\text{m}$. Îmbâcsirea discului abraziv determină aderența particulelor de material la suprafața prelucrată.

c) Abrazare cu disc abraziv D54VB4P/A cu granulație de $54 \mu\text{m}$, granule tocite, $a_p=0.03 \text{ mm}$, $f=0.008 \text{ mm/rev}$, $v=55 \text{ m/s}$, roughness $R_z = 0.768 \mu\text{m}$. Datorită uzurii discului abraziv, frecarea dintre suprafață și disc este intensă, ceea ce determină o creștere a temperaturii în zona de contact. Stratul de sub suprafața prelucrată prezintă arsuri, oxidări.

d) Abrazare cu disc abraziv D54VB4P/A cu granulație de $54 \mu\text{m}$, îmbâcsit, $a_p=0.03 \text{ mm}$, $f=0.008 \text{ mm/rev}$, $v=40 \text{ m/s}$, roughness $R_z = 0.766 \mu\text{m}$. Particulele de material aderă la suprafața de prelucrat.

6.7.5. Concluzii:

Parametrii independenți, adâncimea de așchiere, avansul, granulația și viteza de așchiere, influențează R_z și R_a ;

- ✚ Rugozitatea crește odată cu creșterea adâncimii de așchiere. Rugozitatea se poate micșora dacă adâncimea de așchiere este redusă atunci când se folosesc discuri abrazive cu granulații mici;
- ✚ Avansul este un parametru foarte important în influențarea rugozității suprafeței, când se folosesc discuri abrazive cu granulații mari. Utilizarea discurilor abrazive cu granulații mici scade semnificația acestui parametru;
- ✚ Granulația are o influență semnificativă asupra rugozității suprafeței. Granulațiile mari ale discurilor abrazive determină valori mari ale rugozității suprafeței. Granulele fiind mari și distanța dintre ele este mai mare, ceea ce determină o creștere a ariei transversale a așchiei îndepărtate;
- ✚ Viteza de așchiere are un efect relativ mic asupra valorilor rugozității. Creșterea vitezei determină o mică descreștere a valorilor rugozității;
- ✚ Optimizarea procesului de abrazare a carburii de wolfram utilizate pentru scule așchietoare este importantă, deoarece suprafețele lor active necesită anumite caracteristici calitative. Mai mult, calitatea suprafeței active a sculei așchietoare duce la eliminarea mai facilă a așchiilor și, prin urmare, durabilitatea este mai bună. Rugozitatea maximă admisă a suprafeței active este $R_z = 0,3\mu\text{m}$;
- ✚ Rezultatele experimentelor permit obținerea parametrilor optimi pentru procesul de abrazare din punct de vedere al calității suprafeței. Parametrii optimi rezultați din cercetarea experimentală a procesului de abrazare au fost: adâncime de așchiere $a_p = 0,01\text{ mm}$, avans $f = 0,005\text{ mm / rot}$, viteză de așchiere $v = 55\text{ m/s}$, granulația discului abraziv $46\ \mu\text{m}$. Pentru aceste condiții, valoarea rugozității suprafeței $R_z = 0.228\ \mu\text{m}$;
- ✚ Studiul variației rugozității în raport cu uzura radială a discului abraziv, impunând rugozitatea $R_z = 0,3\ \mu\text{m}$, a dus la concluzia că se poate realiza numai prin prelucrare cu discuri abrazive de granulații mai mici decât $46\ \mu\text{m}$. În acest caz, pentru D46, este permisă o uzură radială maximă $\Delta r = 30\ \mu\text{m}$.

7. CONCLUZII GENERALE, CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE

În cadrul acestei teze de doctorat, s-a urmărit studiul procesului de abrazare a carburii metalice DK460UF, utilizată la fabricarea sculelor pentru prelucrarea alezajelor, în scopul determinării parametrilor optimi de prelucrare.

7.1. Concluzii generale privind abrazarea carburilor metalice destinate fabricării burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici

Procesul de abrazare este un proces de prelucrare în care sunt implicați mulți factori care influențează mai mult sau mai puțin buna sa desfășurare. Optimizarea procesului de prelucrare prin abrazare se poate face prin optimizări parțiale ale elementelor componente.

➤ Discurile abrazive cu granule de diamant și liant pe bază de rășină sunt indicate pentru prelucrarea carburilor metalice. S-a demonstrat că discurile abrazive cu granulație grosolană determină o creștere a energiei specifice și a cantității de material îndepărtat, în detrimentul calității suprafeței prelucrate.

➤ Factorii care influențează calitatea suprafeței prelucrate prin abrazare sunt: discul abraziv, parametrii regimului de așchiere, mediul de așchiere, forțele de așchiere, fluxul de temperatură.

➤ Analiza factorilor de influență asupra calității suprafeței prelucrate prin abrazare arată faptul că parametrii regimului de așchiere au o mare pondere pentru îmbunătățirea acesteia, alături de caracteristicile discului abraziv.

➤ Suprafețele active ale burghiilor pentru găuri adânci de diametre reduse, cu muchii așchietoare și orificii pentru pătrunderea lichidului de răcire, necesită o calitate superioară. Parametrii regimului de așchiere, proprietățile discului abraziv, gradul de uzură sunt

subiecte ale studiului întreprins. Elaborarea modelelor forțelor, temperaturii, uzurii discului abraziv și al rugozității sunt rezultate utile în domeniul prelucrărilor carburilor metalice.

➤ Forța de abrazare este dependentă de viteza de avans, adâncimea de așchiere și viteza. De asemenea, gradul de uzură al discului abraziv are influență asupra mărimii forțelor.

➤ Viteza de așchiere influențează componentele forțelor de așchiere, dar mărimea influenței vitezei principale depinde și de valorile pe care le capătă alți parametri ai procesului de așchiere. Astfel, pentru viteza constantă de 36 m/s, și o creștere a avansului de la 0.15 mm/cursă la 0.25 mm/cursă se înregistrează o creștere a componentelor normală și tangențială ale forței de așchiere, datorită grosimii mai mari a așchiei nedeformate. De asemenea, la o viteză de așchiere mai mare, constantă, odată cu creșterea avansului între aceleași limite, forța de abrazare crește, se intensifică acțiunea de tăiere, dar datorită vitezei mari de așchiere, crește frecarea.

➤ La creșterea adâncimii de așchiere, de la 0.01 mm la 0.03 mm, forțele normală și tangențială cresc datorită creșterii grosimii așchiei nedeformate.

➤ Cunoașterea influenței parametrilor regimului de așchiere asupra forței de abrazare permite controlarea acestui factor.

➤ S-a constatat că, la avansuri mici și viteze de așchiere mari, forțele se micșorează.

➤ Uzura discului abraziv determină o creștere a forței de abrazare.

➤ Discurile abrazive cu granulație mai mare se uzează mai repede.

➤ Parametrul "G-ratio", indicator al uzurii volumetrice a discului abraziv, la materialele greu prelucrabile, care lucrează în condiții dificile, poate scădea la valoarea

➤ Prelucrarea suprafețelor mici, cu muchii așchietoare și goluri, se face cu dificultate, comparativ cu suprafețele mai mari. Discurile abrazive sunt supuse șocurilor, ceea ce determină o uzură pronunțată a acestora.

➤ "G-ratio" este mai mare la utilizarea discurilor cu granulații mici, ceea ce implică un proces mai eficient. Discurile cu granulații mici sunt preferate la prelucrarea suprafețelor burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici.

➤ Uzura discului abraziv este influențată și de parametrii regimului de așchiere și mediul de așchiere. La o adâncime de așchiere mai mare, forța de așchiere pe granula abrazivă este mai mare, ceea ce determină creșterea uzurii. La viteze mari de așchiere, frecarea dintre discul abraziv și suprafața de prelucrat este mai mare, ceea ce determină tocirea granulelor. Temperatura dezvoltată în procesul de abrazare determină uzura discului abraziv. Utilizarea mediului de răcire scade rata de uzură a discului abraziv.

➤ Temperatura maximă în zona de contact crește odată cu creșterea adâncimii de așchiere, cu viteza discului, cu diametrul discului, dar scade cu creșterea vitezei piesei.

➤ Cantitatea de căldură din piesă depinde de parametrii regimului de așchiere.

➤ Temperatura de ansamblu dăunează stratului prelucrat, în timp ce temperatura locală și căldura generată la interfața granulă/suprafață de prelucrat determină creșterea ratei de uzură a granulelor abrazive.

➤ Temperatura medie scade cu creșterea vitezei piesei, deoarece, căldura este preluată mereu de porțiuni noi ale piesei.

➤ Uzura discului abraziv determină o creștere a temperaturii.

➤ Parametrul cu cea mai mare influență asupra rugozității suprafețelor prelucrate prin abrazare a materialului DK460UF, este adâncimea de așchiere. Odată cu micșorarea acesteia de la valoarea de 0,03 la 0,01 mm, rugozitatea suprafeței se îmbunătățește cu aproximativ 50% (R_a scade de la 0,113 μm la 0,057 μm , iar R_z scade de la 0,452 μm la 0,228 μm).

➤ Avansul este al doilea factor ca importanță în influențarea rugozității. Scăderea avansului determină o scădere a rugozității.

- Granulația discului abraziv influențează calitatea suprafeței. Un disc cu granulație fină determină o rugozitate mai mică.
- Viteza de aşchiere are o influență relativ mică. Creșterea vitezei determină o ușoară scădere a rugozității.

Modelele matematice obținute pentru rugozitate sunt robuste și importante. Analiza statistică complexă realizată cu ajutorul programului Design Expert a demonstrat adecvanța modelului, iar șansa ca valoarea rugozității să se modifice la zgomote aleatoare este 0,01%.

7.2. Contribuții personale

Contribuțiile personale se reflectă în:

- Realizarea analizei SWOT pentru determinarea oportunității temei prezentei teze de doctorat.
- Cercetarea bibliografică amplă, care a cuprins un număr mare de lucrări, care au abordat problematica procesului de abrazare (peste 500 de lucrări, din care 30% din ultimii 5 ani. Am sintetizat informațiile rezultatele obținute în aceste lucrări sub formă tabelară. în tabelele 2.2., 2.3 și 2.4., în care au fost prezentate analizele efectuate de cercetători și rezultatele obținute. Domeniile structurate sunt: materiale prelucrate prin abrazare, structura și topografia discului abraziv și influența acestor aspecte asupra procesului, precum și fenomene care însoțesc procesul de abrazare).
- Prezentarea structurată a tuturor aspectelor legate de procesul de abrazare: discul abraziv, cinematica abrazării (formarea aşchiei, forțe de abrazare, mișcări necesare), regimul de aşchiere, mediul de aşchiere.
- O prezentare sintetică a tehnicilor de modelare și a modelelor unor aspecte importante ale procesului de abrazare.
- Elaborarea modelului general de analiză a prelucrării prin abrazare a carburii metalice DK460UF.
- Stabilirea influenței diferiților factori de proces și ierarhizarea acestora cu metoda "Triplei cruci".
- Elaborarea modelului numeric al fluxului de căldură la prelucrarea carburii metalice DK460UF.
- Prezentarea burghiilor pentru găuri adânci de diametre reduse, a aspectelor geometrice ale acestora, a problemelor care apar în exploatare (găurire adâncă).
- Proiectarea tehnologiei de fabricație a burghiilor pentru găuri adânci cu diametre mici, cu evidențierea operației de abrazare.
- Stabilirea cercetărilor experimentale pentru a identifica și defini parametrii de lucru pentru abrazarea carburii DK460UF utilizată la realizarea sculelor aşchietoare pentru prelucrarea alezajelor.
- Proiectarea experimentelor pentru determinarea influenței parametrilor procesului de abrazare asupra forței de abrazare, desfășurarea experimentelor, analiza și interpretarea rezultatelor. Pentru determinarea modelelor matematice și reprezentarea grafică a dependenței acesteia de variabilele independente s-a utilizat programul Design Expert. Adecvanța modelului și determinarea importanței factorilor de influență asupra forței de abrazare s-au realizat cu metoda de analiză statistică ANOVA.
- Proiectarea experimentelor pentru determinarea influenței parametrilor procesului de abrazare asupra temperaturii, desfășurarea experimentelor, analiza și interpretarea rezultatelor. Pentru măsurare, s-a utilizat termocuplul carbură - cupru, iar ca etalon, un termocuplu de tip K. Pentru etalonarea termocuplului s-a utilizat un stand de etalonare. Pentru determinarea modelelor matematice și reprezentarea grafică a dependenței acesteia de variabilele independente s-a utilizat programul Design Expert. Adecvanța

modelului și determinarea importanței factorilor de influență asupra temperaturii s-au realizat cu metoda de analiză statistică ANOVA. Pentru vizualizarea intensității fluxului de temperatură în zona de contact dintre discul abraziv și suprafața carbunii, s-a utilizat INFRARED CAMERA.

- Proiectarea experimentelor pentru determinarea uzurii discului abraziv în raport cu numărul de reperi prelucrate (burghie pentru găuri adânci de diametre reduse). S-a urmărit evoluția uzurii discului abraziv, măsurând uzura radială la fiecare 100 de reperi prelucrate, determinând numărul de reperi la care apare uzura catastrofală. Au fost prelucrate 1900 de reperi. Prelucrarea s-a efectuat pe mașina Walter Helitronic Minipower din cadrul SC COMPA SA și măsurarea uzurii s-a făcut cu mașina de măsurat Walter Helicheck Basic Optical CNC.
- Proiectarea experimentelor pentru determinarea influenței parametrilor procesului de abrazare asupra rugozității suprafeței prelucrate, desfășurarea experimentelor, analiza și interpretarea rezultatelor. Pentru determinarea modelelor matematice și reprezentarea grafică a dependenței acestora de variabilele independente s-a utilizat programul Design Expert. Adecvanța modelului și determinarea importanței factorilor de influență asupra rugozității s-au realizat cu metoda de analiză statistică ANOVA.
- Utilizarea SEM pentru vizualizarea influenței parametrilor regimului de așchiere și ale proprietăților discului abraziv asupra calității suprafeței prelucrate. Studiul s-a realizat în cadrul Institutului Francez de Mecanică Avansată din Clermont Ferrand, Franța.
- Concluzii privind parametrii optimi de prelucrare ai carbunii metalice DK460UF, cu un conținut de 91% WC și 9 % Co, prelucrată cu două tipuri de discuri abrazive, cu granulații diferite, 46 μm și 54 μm. S-au determinat condițiile de prelucrare pentru atingerea pragului de rugozitate impus de calitatea suprafeței, de 0,228 μm:
 - ✚ Utilizarea discurilor cu granulații mici (46 μm) la următorul regim de așchiere: viteza de așchiere de 55 m/s, avansul de 0,005 mm/rot, iar adâncimea de așchiere de 0,01 mm.

Pentru valorile propuse ale regimului de așchiere, se obțin cerințele de calitate pentru suprafețele active ale burghiilor pentru găuri adânci, atât de necesare pentru realizarea unui proces performant de găurire adâncă.

7.3. Direcții de cercetare viitoare

În urma cercetărilor realizate pe parcursul prezentei teze de doctorat se consideră ca fiind utilă dezvoltarea studiilor pe următoarele direcții:

1. Determinarea dependenței calității suprafețelor active ale burghiilor pentru găuri adânci de diametre mici din carbură metalică DK460UF, prelucrate prin abrazare, de alți factori, cum ar fi: timpul de contact dintre discul abraziv și suprafața de prelucrat, geometria așchiei, topografia discului abraziv, etc.

2. Determinarea influenței parametrilor de prelucrare asupra calității suprafețelor prelucrate pentru alte tipuri de burghie.

3. Utilizarea altor metode pentru determinarea parametrilor optimi ai prelucrării prin abrazare a carbunii DK460UF, cum ar fi: metoda Taguchi, etc.

4. Crearea unei baze de date care să conțină toți parametrii optimi de prelucrare a carburilor de wolfram destinate fabricării sculelor așchietoare pentru prelucrarea alezajelor adânci de diametre mici, precum și combinații optime ale acestor parametri.

5. Realizarea unui sistem performant de măsurare a temperaturii în zona de contact

6. Realizarea unui sistem de monitorizare a procesului de abrazare a carburilor metalice în ansamblu. În momentul de față se optimizează anumiți parametri și în funcție de aceștia se urmărește îmbunătățirea altor parametri.

BIBLIOGRAFIE

- 1 Adamovskii, A.A. *Precision dressing of diamond tools*, Journal of Superhard Materials, October 2007, Volume 29, Issue 5, pp 316-318
- 2 Alagumurthi, N., Palaniradja, K. *Optimization of grinding process through design of experiment – A comparative study*, 2006
- 3 Anderson D., Warkentin, A., Bauer, R. *Comparison of numerically and analytically predicted contact temperatures in shallow and deep dry grinding with infrared measurements*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2008, Vol. 48, pp. 320–328
- 4 Armarego, E.I.A. Brown, R.H. *The Machining of Metals*, Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey, 1969.
- 5 Arunachalam N, Ramamoorthy B *Texture Analysis for Grinding Wheel Wear Assessment Using Machine Vision. Proceedings of the IMechE Part B*, 2007, 221:419–430.
- 6 Aurich S. C., Braun O., Warnecke G., *Development of a Superabrasive Grinding Wheel with Defined Grain Structure Using Kinematic Simulation*, Annals of the CIRP, vol. 52, no. 1, 2003, pp. 275 – 280
- 7 Azizi A., Rahimi A., Rezaei S. *Study on Rotary Cup Dressing of CBN Grinding Wheel and the Grinding Performance*, International Journal of Advanced Manufacturing, 2010, 47:1053–1063
- 8 Azizi A., Rahimi A., Rezaei S.M., Baseri H. *Modeling of Dressing Forces of Vitrified CBN Grinding Wheels with Rotary Diamond Cup Dresser*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Journal of Machining Science and Technology, (2009), 13(3):407–426
- 9 J. Badger *Factors affecting wheel collapse in grinding*, CIRP Annals - Manufacturing Technology 58, 2009, pp. 307–310
- 10 Badger J., Torrance A. *A Comparison of Two Models to Predict Grinding Forces from Wheel Surface Topography*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000, 40:1099–1120
- 11 Bagirov, S.A. *Surfaces ground by standard wheels and wheels with graduated grain sizes*, Russian Engineering Research January 2012, Volume 32, Issue 1, pp 50-54
- 12 Baroiu N., Berbinschi S., Teodor V., Oancea N. *Comparative Study Of Drill's Flank Geometry Developed With The Catia Software*, The Annals Of "Dunărea De Jos" University Of Galați, Fascicle V, Technologies In Machine Building, 2012
- 13 Baseri H., Rezaei S.M., Rahimi A., Saadat M. *Analysis of the Disc Dressing Effects on Grinding Performance – Part 1: Simulation of the Disc Dressed Wheel Surface*, Machining Science and Technology, 2008, 12(2):183–196
- 14 Baseri, H., Alinejad, G. *ANFIS Modeling of the Surface Roughness in Grinding Process*, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2011
- 15 Baseri H., Rezaei S.M., Rahimi A., Saadat M. *Analysis of the Disc Dressing Effects on Grinding Performance – Part 2: Effects of the Wheel Topographical Parameters on the Specific Energy and Workpiece Surface Roughness*, Machining Science and Technology, 2008, 112(2):197–213
- 16 Beju, L.D., Brîndașu, P.D., Milojevic, Z., Zivkovic, A.
- 17 Beju, L.D., Brîndașu, P.D., Vulc, S. *Desing of Modern Rotating Tools*, Published by Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, 2014
- 18 Berce, P., Bâlc, N., Ancău, M. *Grinding Tungsten Carbide Used for Manufacturing Gun Drills*, Journal of Mechanical Engineering, Strojniški vestnik, Volume, 2015
- 19 Bell, A., Jin, T., Stephenson, D. J. *Fabricarea Rapidă a Prototipurilor*, Edit. Tehnică, București, 2000
- 20 Biddut I.A.Q., Rahman M., Neo K.S., Rezaur Rahman K.M., Sawa M., Maeda Y. *Burn Threshold Prediction for High Efficiency Deep Grinding*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume 51, Issue 6, June 2011, pp.433-438
- 21 Brinksmeier E., Aurich J.C., Govekar E., Heinzl C. *Performance of single crystal diamond tools with different rake angles during micro-grooving on electroless nickel*, International Journal of Advanced Manufacture Technology, 2007, 33:891–9
- 22 Brinksmeier E., Cinar M. *Advances in Modelling and Simulation of Grinding Processes*, Annals of the CIRP 55(2), (2006), pp. 667–696
- 23 Brinksmeier E., Cinar M. *Characterization of Dressing Parameters by Determination of the Collision Number of the Abrasive Grit*, Annals of the CIRP 44(1), (1995), pp.299–304

- 23 Brîndașu P.D., Cernușcă D. *Îndrumar de proiectare burghie pentru găuri adânci*, Edit. Universității din Sibiu, 1993
- 24 Brîndașu, P.D., Beju, L.D. *Scule așchietoare*, Edit. Universității "Lucian Blaga" din Sibiu, 2012
- 25 Borzan, M., Hancu, L., ș.a. *Study of the ZK4 Worm Grinding Process*, Annals of MteM for 2007
- 26 Brown C.A., Hahn R.S., St. Gelais R.M., Powers B., Geiger D.J., Bergstrom T.S. *Grinding Wheel Texture and Diamond Roll Plunge Dressing Feed-rates*, ISAAT, 2007
- 27 Butler-Smith P.W., Axinte D.A., Daines M. *Preferentially oriented diamond microarrays: a laser patterning technique and preliminary evaluation of their cutting forces and wear characteristics*, International Journal of Machine Tools &Manufacture, 2009, 49:1175–84
- 28 Cofaru, N.F. *Contribuții privind modelarea procesului de uzare abrazivă*, Teză de doctorat, Cluj-Napoca, 1999.
- 29 Chang W. T., Chen T. H., Tarng Y. S., *Measuring Characteristic Parameters of Form Grinding Wheels Used for Microdrill Fluting by Computer Vision*, Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, Vol. 35, No. 3, 2011
- 30 Chang, H. C., Junz Wang J. *A Stochastic Grinding Force Model Considering Random Grit Distribution*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2008 ,vol. 48, pp. 1335–1344
- 31 Changcai Cui , Xipeng Xu, Hui Huang, Jie Hu, Ruifang Ye, Lijun Zhou, Chunqi Huang
- 32 Chen H., Li J.C.M. *Extraction of the grains topography from grinding wheels*, MOE Engineering Research Center for Brittle Materials Machining, Huaqiao University, Xiamen 361021, China, Measurement 46, 2013 484–490
- 33 Chen M, Ma Y.A., Liu G., Xiang D.H., Sun F.H. *Anodic Metal Matrix Removal Rate in Electrolytic In-Process Dressing I,II: Two-Dimensional Modeling. Protrusion Effect and Three Dimensional Modeling* Journal of Applied Physics, 2000, 87(6):3151–3158; 3159–3164
- 34 Chen M., Sun F., Liu G., Jian X., Li X. *Resin Bonded CBN Grinding Wheel Dressing by Laser*, Simulation and Experiment. Key Engineering Materials, 2006, 304–305:38–42
- 35 Chen W.K. *Theoretical and Experimental Research on Generation Mechanism of Grinding Wheel Topography by Laser Dressing and 3D Laser Scanning*, Key Engineering Materials, 2003, 233–236:497–502
- 36 Chen X., Rowe B. *Loose Abrasive Truing and Dressing of Resin Bond Diamond Cup Wheels for Grinding Fiber Optic Connector*, Journal of Materials Processing Technology, 2005, 159:229–239
- 37 Chockalingam, P., Kok, K., Vijayaram, R. *Analysis and Simulation of the Grinding Process, Part 1: Generation of the Grinding Wheel Surface*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 1996, 36(8):871–882.
- 38 Comley, P., Stephenson, D.J., ș.a. *Effect of Coolant on Cutting Forces and Surface Roughness in Grinding of CSM GFRP*, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2012
- 39 Crețu, Gh. *High – efficiency deep grinding and the effect on surface integrity*, 2004
- 40 Cui C. , Xu X., Huang H., Hu J., Ye R., Zhou L., Huang C. *Metode de cercetare experimentală*, Ed. Tehnică, Info Chișinău, 2000
- 41 Deacu, L., Kerekes, L., Julean, D., Cărean, M. *Extraction of the grains topography from grinding wheels*, Measurement 46, 2013, pp. 484–490
- 42 Dabrowski L., Marciniak M. *Bazele așchierii și generării suprafețelor*, Univ. Tehnică, Cluj-Napoca, 1992
- 43 Denkena B., Boehnke D., Wang B. *Efficiency of Special Segmental Grinding Wheel*, Journal of Materials Processing Technology, 2001, pp. 264–269
- 44 Denkena B., de Leon L., Wang B. *Manufacturing of Functional Microstructured Surfaces by Grinding with Vitrified SiC- and cBN-wheels*, International Journal of Abrasive Technology, 2009, pp. 207–222
- 45 Denkena B., Leon D.L., Wang B., Hahmann D. *Grinding of Microstructured Functional Surfaces: a Novel Strategy For Dressing of Microprofiles*, Production Engineering Research and Development (WGP), 2009, pp. 41–48
- 46 Derkx J. *Development in the Dressing of Super Abrasive Grinding Wheels*, Key Engineering Materials, 2010, pp. 404:1–10
- 47 Dingemans, P. *High Precision Form Crush Profiling of Diamond Grinding Wheels*, PhD-thesis, TU Delft NL., 2008
- Gundrilling – an Overview of its Theory and an Analisis of its Performance as compared to spiraldrilind*, Teza de Doctorat, Avans

- Hogeschool Breda, 2004
- 48 Doman, D.A., Warkentin A, Bauer, R
A Survey of Recent Grinding Wheel Topography Models. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2006, pp. 343–352
- 49 Dulămiță, T., ș.a.,
Oțeluri de scule, Ed. Tehnică, București, 1990
- 50 Duscha M., Klocke F., d'Entremont A., Linke B., Wegner H.
Investigation of temperatures and residual stresses in speed stroke grinding via FEA simulation and practical tests, Proceedings in Manufacturing Systems, Vol. 5, 2010, No. 1 / 1-10
- 51 Elekes C.
Scule pentru găurirea alezajelor lungi, Edit. Scrisul Românesc, 1985
- 52 Feng J., Kim B.S., Shih A., Ni J.
Tool wear monitoring for micro-end grinding of ceramic materials, Journal of Materials Processing Technology 209, 2009, 5110–5116
- 53 Feng Z., Chen X.
Image Processing of Grinding Wheel Surface, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007, pp. 452–458
- 54 Fujimoto M., Ichida Y.
Micro Fracture Behavior of Cutting Edges in Grinding Using Single Crystal CBN Grains, Diamond and Related Materials, 2008, pp. 17(7–10):1759–1763
- 55 Fujimoto M., Ichida Y., Sato R., Morimoto Y.
Characterization of Wheel Surface Topography in CBN Grinding, JSME International Journal Series C, 2006, pp. 106–113
- 56 Gao Y.,
Use of actively cooled and activated coolant for surface quality improvement in ductile material grinding, 2008
- 57 George, L.P., Varughese Job, K., Chandran, I. M.
Study on Surface Roughness and its Prediction in Cylindrical Grinding Process based on Taguchi method of optimization, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 3, Issue 5, May 2013 1 ISSN 2250-3153
- 58 Ghosh A., Chattopadhyay A.K.
On Cumulative Depth of Touch-dressing of Single Layer Brazed CBN Wheels with Regular Grit Distribution Pattern. Machining Science and Technology, 2007, pp. 11(2):259–270
- 59 Giurăscu, C.C.
Contribuții la istoria științei și tehnicii românești în sec.XV-XIX. București, Ed. Stiințifică, 1973.
- 60 Gostimirovic, M., Kovac, P., Sekulic, M., Savkovic B.
An Inverse Heat Transfer Method For Determination Of The Workpiece Temperature In Grinding, Journal Of Production Engineering, Vol.12, 2009, Number 1, University Of Novi Sad
- 61 Guo C., Campomanes M., Mcintosh D., Becze C.
Model-based Monitoring and Control of Continuous Dress Creep-feed Form Grinding. Annals of the CIRP, 2004, pp. 53/1:263–266
- 62 Guo, C., Wu, Y., Varghese, V., Malkin, S.
Temperatures and energy partition for grinding with vitrified CBN wheels, Annals of the CIRP, 48/1, 1999, 247-250.
- 63 Guseinov G. A., Bagirov S. A.
Grinding Wheel with Grains of Different Sizes - Russian Engineering Research, 2009, Vol. 29, No. 7, pp. 690–692.
- 64 Haifeng, C., Jinyuan T., Wei, Z.
Modeling and predicting of surface roughness for generating grinding gear, Journal of Materials Processing Technology 213, 2013, 717– 721
- 65 Harimkar S.P., Dahotre N.B.
Evolution of Surface Morphology in Laser-Dressed Alumina Grinding Wheel Material, International Journal of Applied Ceramic Technology, 2006, pp. 3(5):375–381
- 66 He L., Li X., Wang G., Rong Y.
A Preliminary study on an improved grinding process integrated with induction heating technology, Transactions of NAMRI/SME, May, 2010, Volume 38, pp. 121-126
- 67 Hecker, R.-L., Liang, S.-Y.
Predictive modeling of surface roughness in grinding, International Journal of Machine Tools and Manufacture 43/8, 2003, pp. 755-761.
- 68 Hecker, R.-L., Ramoneda, I.-M., Liang, S.-Y.
Analysis of wheel topography and grit force for grinding process modeling, Journal of Manufacturing Processes 5/1, 2003, 13-23.
- 69 Herman, Daniela, Krzos, J.
Influence of vitrified bond structure on radial wear of CBN grinding wheels
 Journal of Materials Processing Technology 209, 2009, pp. 5377–5386
- 70 Hesselbach, J., Hoffmeister, H.W., s.a.
Surface grinding with cryogenics, Production Engineering, XI/2, 2004
- 71 Hitoshi, O.,
Fabrication of New Porous Metal-Bonded Grinding Wheels by HIP Method and Machining Electronic Ceramics, 1997
- 72 Masaki, K., s.a.
An Introduction to Primitive Technology, F.A. Praeger, New York, 1964
- 73 Hodges, H.W.M., Artifacts
Truing of Micro-grinding Wheels by Diamond Tools, ASPE Annual Meeting, 2006, pp. 467–470
- 73 Hoffmeister H.W., Hlavac M.
- 74 Hosokawa A., Ueda T., Yunoki T.
Laser Dressing of Metal Bonded Diamond Wheel, Annals of the CIRP 55(1), 2006, pp. 329–332

- 75 Hou, Y. L., Li, C. H., Zhang, Q. *Investigation of Structural Parameters of High Speed Grinder Spindle System on Dynamic Performance*, Int. J. Materials and Product Technology, 2012, vol. 44, no. 1/2, pp. 92-114.
- 76 Huang H., Liu T. C. *Experimental Investigations of Machining Characteristics and Removal Mechanisms of Advanced Ceramics in High Speed Deep Grinding*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 43, no. 8, 2003, pp. 811-823
- 77 Inasaki I. *A New Preparation Method for Resinoid-Bonded CBN Wheels*, Annals of the CIRP 39(1), 1990, pp. 317-320
- 78 Ință Marinela *Contribuții privind monitorizarea proceselor și a echipamentelor pentru așchieria metalelor*, Teză de doctorat, Sibiu, 2010
- 79 Ispas, C., Simion, F.P. *Vibrațiile mașinilor-unelte*, Ed. Academiei, București, 1986
- 80 Izumi, M., Ochi, A., *Sizing Method Based on Grinding Ratio in Heavy Grinding*, American Society for Precision Engineering, 2004,
- 81 Jackson M.J., Khangar A., Chen X., Robinson G.M., Venkatesh V.C., Dahotre N.B. *Laser Cleaning and Dressing of Vitrified Grinding Wheels*, Journal of Materials Processing Technology, 2007, pp. 185(1-3):17-23
- 82 Jiang Z. *Machining Feature Based Geometric Modeling of Twist Drills*, Department of Mechanical & Industrial Engineering, 2011
- 83 Jiao F., Zhao B., Zhu X.S., Fan Q.T. *Ultrasonic Dressing of Grinding Wheel and its Influence on Grinding Quality*, Key Engineering Materials, 2006, pp. 304-305:62-65
- 84 Jin T., Cai G. Q. *Analytical thermal models of oblique moving heat source plane for deep grinding and cutting*, ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol. 123, no. 1, 2001, pp. 185-190
- 85 Kamely, M.A., Kamil, S.M., Chong, C.W. *Mathematical Modeling of Surface Roughness in Surface Grinding Operation*, International Journal of Engineering and Natural Sciences 5:3 2011
- 86 Kang R.K., Yuan J.T., Zhang Y.P., Ren J.X. *Truing of Diamond Wheels by Laser*, Key Engineering Materials, 2001, pp. 202-203:137-142
- 87 Karpuschewski B., Knoche H.J., Hipke M. *Gear Finishing by Abrasive Processes*, Annals of the CIRP, 2008, pp. 57(2):612-640
- 88 Karpuschewski B., Wehmeier, M., Inasaki, I. *Grinding Monitoring System Based on Power and Acoustic Emission Sensors*, Annals of the CIRP, 2000
- 89 Khangar A., Dahotre N.B., Jackson M.J., Robinson G.M. *Laser Dressing of Alumina Grinding Wheels*, Journal of Materials Engineering and Performance, 2006, pp. 15(2):178-181
- 90 Khudobin, L.V., Unyanin, A.N. *Improved Performance of Grinding Wheels in Machining Plastic Steel and Alloy Blanks*, Russian Engineering Research, 2008
- 91 Kim H.J., Kim S.R., Ahn J.H., Kim S.H. *Process Monitoring of Centerless Grinding Using Acoustic Emission*, Journal of Materials Processing Technology, 2001, 111(April (1-3)), pp. 273-278
- 92 King, R. *Strategia cercetării*, Editura Polirom, Iași, 2005
- 93 Kiruthika Devi Sundarrajan *Study Of Grinding Burn Using Design Of Experiments Approach And Advanced Kaizen Methodology*, A Thesis, Manufacturing Systems Engineering, Lincoln, Nebraska, May, 2012
- 94 Klink A. *Wire Electro Discharge Truing and Dressing of Fine Grinding Wheels*, Annals of the CIRP, 2010, pp. 59:235-238
- 95 Klocke F., Konig W. *Fertigungsverfahren-Schleifen*, Springer Verlag, Honen, Lapen, Band 2, Auflage 4, (2005), ISBN: 978-3-540-23496-8.
- 96 Klocke F., Zeppenfeld C., Linke B. *Verschleiß-ausbildung an Diamantformrollen*, wt. Werkstattstechnik Online, 2006, pp. 96(6):372-376
- 97 Koshin, A.A., Chaplygin, B.A., ș.a. *The Design of Abrasive Machining Operations*, 2011
- 98 Koshy P., Ives L., Jahanmir S. *Simulation of Diamond-ground Surfaces*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 1999, pp. 39:1451-1470
- 99 Krar, S.F., Ratterman, E. *Superabrasives: grinding and machining with CBN and diamond*, McGraw-Hill, New York, 1990.
- 100 Kruszynski, B.W., Lajmert, P. *An Intelligent Supervision System for Cylindrical Traverse Grinding*, Annals of the CIRP, 1998
- 101 Kunieda Y., Matsuura H., Kodama *Development of a New Laser Conditioning Method for Ultra-Fine Grit*

- S., Yoshihara N., Yan J., Kuriyagawa T. *Diamond Wheels*, Key Engineering Materials, 2007, pp. 329:175–180
- 102 Lachance S., Bauer R., Warkentin A. *Application of Region Growing Method to Evaluate the Surface Condition of Grinding Wheels*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2004, pp. 44:823–829
- 103 Lee E.S., Chun Y.J., Kim N.K. *A Study on the Optimum Condition Selection of Rotary Dressing System of Ultra-precision Centerless Grinding Machine for Ferrule*, Advances in Abrasive Technology, 2005, VIII pp. 291–292:189–194
- 104 Lei Zhang *Numerical Analysis and Experimental Investigation of Energy Partition and Heat Transfer in Grinding*, licensee InTech, 2012
- 105 Lezanski P. *An Intelligent System for Grinding Wheel Monitoring*, Journal of Materials Processing Technology, 2001, pp. 109:258–263
- 106 Li J., Li J.C.M. *Temperature distribution in workpiece during scratching and grinding*, International Journal of Materials Science and Engineering 2005, vol. 409, pp. 108–119
- 107 Li, X., Rong, Y. *Framework of Grinding Process Modeling and Simulation Based on Microscopic Interaction Analysis*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 27, 2011, pp. 471–478
- 108 Liao W.T., Ting C.F., Qu J., Blau P.J. *A Wavelet-based Methodology for Grinding Wheel Condition Monitoring*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2007, pp. 47:580–592
- 109 Lierse T., Kaiser M. *Dressing of Grinding Wheels for Gear wheels*, IDR (Industrial Diamond Review), 2002, 4/02, pp. 273–281
- 110 Lim H.S., Fathima K., Kumar A.S., Rahman M. *A Fundamental Study on the Mechanism of Electrolytic In-process Dressing (ELID) Grinding*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2002, pp. 42(8):935–943
- 111 Lin B., Wu H., Zhu H. T., Yu S. Y. *Study on Mechanism for Material Removal and Surface Generation by Molecular Dynamics Simulation in Abrasive Processes*, Key Engineering Materials, 2004, pp. 259-260: 211-215
- 112 Linke B., Glocke F. *Dressing Process Model for Vitrified Bonded Grinding Wheels*, Annals of the CIRP, 2008, pp. 57(1):345–348
- 113 Linke B., Klocke F., Zeppenfeld C. *Mikro-verschleiß-mechanismen an Diamantformrollen*. Diamond Business, 2006, pp. 4:60–64
- 114 Maksoud T.M.A., Atia, M.R., Koura, M.M. *Applications of artificial intelligence to grinding operations via neural networks*, Machining Science and Technology, 2003
- 115 Malkin S., Guo C. *Grinding Technology – Theory and Applications of machining with Abrasives*, second ed. Industrial Press, New York. (Chapter 4), 2008
- 116 Malkin, S. Hwang, T.W. *Grinding mechanisms for ceramics*, 1996
- 117 Mamalis, A.G., Kandrak, J., Manolakos, D.E., Gyani, K., and Markopoulos, A. *Thermal Modelling of Surface Grinding Using Implicit Finite Element Techniques*, International Journal of Advance Manufacturing Technologies, (2003), vol. 21, pp.929–934
- 118 Mamun A.A., Dhar N.R. *Numerical Modeling of Surface Roughness in Grinding under Minimum Quantity Lubricants (MQL) using Response Surface Method (RSM)*, Global Journal of Researches in Engineering Mechanical and Mechanics Engineering, 2012, Volume 12 Issue 5 Version 1.0
- 119 Marinescu, I.D., Rawe, W.B., Dimitrov, B., Inasaki, I. *Tribology of Abrasive Machining Process*, William Andrew Publishing, Norwich, New York, 2004
- 120 Marinescu, I.D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe B., Inasaki, I. *Handbook of Machining with GrindingWheels*, CRC Press, Boca Raton 2006
- 121 McSpadden, S., Hughe, S.A. *Systematic Method for Grinding Wheel Performance Evaluation*, <http://web.ornl.gov/~webworks/cppr/y2001/pres/116758.pdf>.
- 122 Minciú O. *Maşini unelte cu comandă numerică*, Bucureşti, Edit. Tehnică, 1985
- 123 Mohammed, Y., Fazlur Rahman, J. *Parametric influence on cutting parameters characteristics in precision machining of ceramic coating materials*, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 3, Issue 1, January-2012 1 ISSN 2229-5518
- 124 Muşiu N.C. *Contribuții Privind Proiectarea și Prelucrarea Asistată de Calculator a unor Scule cu Canale Profilate, pentru Prelucrarea Alezajelor*, Teza de doctorat, Sibiu, 2007
- 125 Nadolny, K. *Durability of Al₂O₃ grinding wheels with zone-diversified structure in single-pass internal cylindrical grinding*, Advances in Manufacturing

- Science and Technology vol. 35, no. 3, 2011
- 126 Nguyen A.T., Butler D.L. *Simulation of Precision Grinding Process – Part 2: Interaction of the Abrasive Grain with the Work Piece*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2005, pp. 45:1329–1336
- 127 Nguyen A.T., Butler D.L. *Correlation of Grinding Wheel Topography and Grinding Performance: A Study From a Viewpoint of Three-dimensional Surface Characterization*, Journal of Materials Processing Technology, (2008), 208(1–3):14–23
- 128 Nomura M., Wu Y., Kuriyagawa T. *Investigation of Internal Ultrasonically Assisted Grinding of Small Holes; Effect of Ultrasonic Vibration in Truing and Dressing of Small CBN Grinding Wheel*, Journal of Mechanical Science and Technology, 2007, pp. 21:1605–1611
- 129 Nosenko V. A., Fedotov E. V., Nosenko S. V., Danilenko M. V. *Probabilities of Abrasive Tool Grain Wearing during Grinding*, Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2009, Vol. 38, No. 3, pp. 270–276.
- 130 Nosenko V. A., Fedotov E. V., Savin, A.I. *Probabilistic Model of the Grain-Tip Distribution at the Working Surface of a Grinding Wheel*, Russian Engineering Research, 2007, Vol. 27, No. 10, pp. 707–712.
- 131 Noveanu, E.
132 Oancea, N. *Metodologia cercetării experimentale*, E.D.P. București, 2007
Bazele aşchierii și generării suprafețelor, Rotaprint, Universitatea Galați, 1978.
- 133 Ohmori H., Katahira K., Naruse T., Uehara Y., Nakao A., Mitzutani M.
134 Okuyama, S., Nishihara, T., Kawamura, S., Hanasaki, S. *Microscopic Grinding Effects on Fabrication of Ultra-fine Micro Tools*, Annals of the CIRP, 2007, pp. 56(1):569–572
Study on the Geometrical Accuracy in Surface Grinding- Thermal Deformation of Workpiece in Traverse Grinding, International Journal Japan Soc. Prec. Eng., 1994
- 135 Oliveira J.F., Bottene A.C., Franca T.V. *A Novel Dressing Technique for Texturing of Ground Surfaces*, Annals of the CIRP, 2010, pp. 59(1):361–364
- 136 Olovsjö, S., Wretland, A., ș.a.
137 Olovsjö, S. *The effect of grain size and hardness of wrought Alloy 718 on the wear of cemented carbide tools*, 2010
On the Effect of Grain Size and Hardness on the Machinability of Superalloys and Chip Deformation, Institutionen för material- och tillverkningssteknik, Chalmers tekniska högskola, 2009
- 138 Oniță, G. *Proiectarea unei scule de frezat inteligente pentru menținerea calității procesului de frezare*, Teză de Doctorat, ULB Sibiu, 2014
- 139 Opitz, H. *Moderne productionstechnik. Stand und Tendenzen*, Essen, Verlag W. Girardet, 1971.
- 140 Oprean, C. ș.a. *Bazele aşchierii și generării suprafețelor*, București, Ed.didactică și pedagogică, 1981
- 141 Ortega N., Sanchez J.A., Aranceta J., Maranon J.A., Maidagan X. *Optimisation of Grit Protrusion in the Electro-Discharge Dressing Process of Large Grit Size CBN Grinding Wheels*, Journal of Materials Processing Technology, 2004, pp. 149:524–529
- 142 Pai, D., Shrikantha S. R., D’Souza, R. *Multi Objective Optimization of Surface Grinding Process by Combination of Response Surface Methodology and Enhanced Non-dominated Sorting Genetic Algorithm*, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 36– No.3, December, 2011
- 143 Pal, D., Bangar, A., Sharma, R., Yadav, A. *Optimization of Grinding Parameters for Minimum Surface Roughness by Taguchi Parametric Optimization Technique*, International Journal of Mechanical and Industrial Engineering (IJMIE), ISSN No. 2231 –6477, Volume-1, Issue-3, 2012
- 144 Patnaik Durgumahanti, U.S., Vijayender, Singh, Venkateswara Rao, P.
145 Pinto F.W. *A New Model for Grinding Force Prediction and Analysis*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 50 (2010) 231–240.
An Experiment and Numerical Approach to Investigate the Machining Performance of Engineered Grinding Tools, Dissertation, ETH Zurich, 2008
- 146 Qian J., Li W., Ohmori H. *Precision Internal Grinding with a Metal- Bonded Diamond Grinding Wheel*, Journal of Materials Processing Technology, 2000, pp. 105:80–86
- 147 Qian J., Ohmori H., Lin W. *Internal Mirror Grinding with a Metal/metal–resin Bonded Abrasive Wheel*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2001, pp. 41:193–208

- 148 Qiang, L., Xun, C., Gindy, N. *Assessment of Al₂O₃ and superabrasive wheels in nickel-based alloy grinding. Int J Adv Manuf Technol*, International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, 2007
- 149 Rabiey M. *Dry Grinding with CBN Wheel, the Effect of Structuring*, Dissertation, University of Stuttgart, 2010
- 150 Radzevich, S.P., Krehel, R. *Determination of the grinding wheel profile and its setup for use in finishing cylindrical gears with an evolvent profile*, 2012
- 151 Rahman M.S., Saleh T., Lim H.S., Son S.M., Rahman M. *Development of an On-machine Profile Measurement System in ELID Grinding for Machining Aspheric Surface with Software Compensation*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2008, pp. 48(7–8):887–895
- 152 Repko, A.V., Smirnov, V. A. *Efficient Plane Grinding by the Wheel periphery with elastically damping elements*, Russian Engineering Research, 2008
- 153 Rhoney B.K., Shih A.J., Scattergood R.O., Ott R., McSpadden S.B. *Wear Mechanism of Metal Bond Diamond Wheels Trued by Wire Electrical Discharge Machining*, Wear, 2002, pp. 252:644–653
- 154 Robles, J. B., Jauregui J. C., Krajnik, P., Sevilla, P. Y., Herrera G. *Nonlinear Model for the Instability Detection in Centerless Grinding Process*, Journal of Mechanical Engineering 58, 2012, pp. 693-700
- 155 Rowe, W.B. *Thermal analysis of high efficiency deep grinding*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2001, Vol. 41(1), pp.1–19
- 156 Safonova, M.N., Syromyatnikova, A.S., Shits, E. Yu. *Computational Experimental Method for Determining the Number of Active Grains in Abrasive Composite Material*, Journal of Friction and Wear, 2007, Vol. 28, No. 5, pp. 434–439.
- 157 Saini, D.P. *Elastic Deflections in Grinding*, Annals of the CIRP 29 (1), 1980
- 158 Saleh T., Rahman S.M., Lim H.S., Rahman M. *Development and Performance Evaluation of an Ultra Precision ELID Grinding Machine*, Journal of Materials Processing Technology, 2007, pp. 192–193:287–291
- 159 Salisbury E., Domala K., Moon K., Miller M., Sutherland J. *A Threedimensional Model for the Surface Texture in Surface Grinding, Part 1 Surface Generation Model and 2 Grinding Wheel Surface Texture Model*, Transaction of ASME, 2001, pp. 123:576–581; 582–590
- 160 Salje, E. *Begriffe der Schleif- und Konditioniertechnik*, Vulkan, Essen, 1991
- 161 Salje E., Harbs U. *Scharfen Kunstharzgebundener CBN-Profil schleifscheiben mit Korundblock und mit Strahl*, Jahrbuch Schleifen, Honen. Lappen und Polieren, 1990, pp. 56:202–216
- 162 Samuel Karanja Kabini, Dr. Bernard Wamuti Ikuu, Dr. George Nyauma Nyakoe *Recent Trends in Modeling and Control of Chatter Vibration in Cylindrical Plunge Grinding Process*, International Journal of Advances in Engineering, Science and Technology, Vol. 2 No. 3 Aug-Oct, 2012
- 163 Sanchez J.A., Pombo I., Cabanes I., Ortiz R., Lopez de Lacalle L.N. *Electrical Discharge Truing of Metal-bonded CBN Wheels using Single-Point Electrode*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2008, pp. 48:362–370
- 164 Sanjay Agarwal, Venkateswara Rao, P. *Predictive modeling of undeformed chip thickness in ceramic grinding*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 56, 2012, pp. 59–68
- 165 Saravanapriyan S.N.A., Vijayaraghavan L., Krishnamurthy R. *Performance Evaluation of Treated Grinding Wheels*, Materials Science Forum, 2003, pp. 437–438:325–328
- 166 Schopf M, Beltrami I, Boccadoro M, Kramer D, Schumacher B *A New Method for Truing and Dressing of Metal Bonded Diamond Grinding Tools*, Annals of the CIRP, 2001, pp. 50(1):125–128
- 167 Shafto, G.R., Howes, T.D., Andrew, C. *Thermal Aspects of Creep Feed Grinding*, Proceedings of the Sixteenth International Machine Tool Design and Research Conference, 1975
- 168 Shaw, M.C. *Metal Cutting Principles*, Oxford, Clarendon Press, 1986
- 169 Shipulin L.V. *Complex Model of Surface Grinding*, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2012, Vol. II, IMECS 2012, March 14 - 16, 2012, Hong Kong
- 170 Sinot O., Chevrier P., Padilla P. *Experimental Simulation of the Efficiency of High Speed Grinding Wheel Cleaning*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2006, pp. 46:170–175
- 171 Sorokin G.M., Malyshev V.N. *Influence of the mechanical characteristics of steel on the abrasive wear and frictional coefficient*, Russian Engineering Research, October 2008, Volume 28, Issue 10, pp 935-938
- 172 Stephane L., Bauer R., Warkentin A. *Application of region growing method to evaluate the surface condition of grinding wheels*, International Journal of Machine Tools & Manufacture

- 44, (2004), 823–829
- 173 Stephenson D.J., Sun X., Zervos C. *A Study on ELID Ultra Precision Grinding of Optical Glass with Acoustic Emission*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2006, pp. 46:1053–1063
- 174 Stepien P. *Grinding Forces in Regular Surface Texture Generation*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2007, pp. 47(14):2098–2110
- 175 Sugihara T., Enomoto T. *Envelopment of a cutting tool with a nano/microtextured surface—improvement of anti-adhesive effect by considering the texture patterns*, Precision Engineering, 2009, pp. 33:425–9
- 176 Sundarrajan, K. D. *Study of Grinding Burn Using Design of Experiments Approach and Advanced Kaizen Methodology*, Industrial and Management Systems Engineering – Dissertations and Student – Research, 2012, Research. Paper 26.
- 177 Suryarghya, C., Paul, S. *Numerical Modelling of Surface Topography in Superabrasive Grinding*, International Journal Advanced Manufacturing Technologies, 2008
- 178 Suzuki K., Iwai M., Uematsu T., Sharma A. *Development of a Grinding Wheel with Electrically Conductive Diamond Cutting Edges*, Advances in Abrasive Technology, 2004, VI 257–258, pp. 239–244
- 179 Suzuki K., Ninomiya S., Iwai M., Tanaka Y., Murakami Y., Sano S., Tanaka K., Uematsu T. *Attempt of Electrodischarge Grinding with an Electrically Conductive Diamond-cutting-Edge Wheel*, Key Engineering Materials, 2005, pp. 291–292:63–66
- 180 Ștețiu G., Lazărescu, I., Oprean, C. și Ștețiu M. *Teoria și practica sculelor așchietoare*. Vol.I,II,III, Sibiu, Editura Universității, 1994.
- 181 Tanovic, L., Bojanic, P., Popovic, M., Belic, Z., Trifkovic, S. *Mechanisms in oxide-carbide ceramic BOK 60 grinding* - International Journal Advanced Manufacturing Technologies, 2012
- 182 Tawakoli T., Rabiey M. *Innovatives Schleifscheibenkonzept zum Trockenschleifen auf dem Vormarsch*, Industrie Diamanten Rundschau (IDR), 2006, pp. 3:30–35
- 183 Tawakoli T., Rasifard A. *Ultraschalunterstütztes Abrichten von CBN Schleifscheiben mit Formrollen*, Seminar. Moderne Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung, 2010, pp. 18-1–18-19
- 184 Tawakoli T., Reinecke H., Vesali A. *An Experimental Study on the Dynamic Behavior of Grinding Wheels in High Efficiency Deep Grinding*, 5th CIRP Conference on High Performance Cutting, Procedia CIRP 1, 2012, pp. 382 – 387
- 185 Tawakoli, T., Hadad, M., Sadeghi, M.H., Daneshi, A., Sadeghi, B. *Minimum quantity lubrication in grinding: effects of abrasive and coolant-lubricant types*, Journal of Cleaner Production, 19, 2011, pp. 2088–2099
- 186 Tawakoli, T., Westkaemper, E., Rabiey, M. *Dry grinding by special conditioning*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 33, 2007, pp. 419–424
- 187 Tonshoff H. K., Friemuth T., Becker J. C. *Process Monitoring in grinding*, Annals of the CIRP, vol. 51, no. 2, 2002, pp. 551-569
- 188 Tonshoff H. K., Karpuschewski B., Mandrysch T. *Grinding Process Achievements and their Consequences on Machine Tools Challenges and Opportunities*, Annals of the CIRP, vol. 47, no. 2, 1998, pp. 651-668
- 189 Torrance A.A., Badger J.A. *The Relation Between the Traverse Dressing of Vitrified Grinding Wheels and Their Performance*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000, pp. 40:1787–1811
- 190 Torrance, A. *Wear of Grinding Wheels – Software for their Selection*, Dept. of Mechanical & Manufacturing Engineering, Trinity College, Dublin
- 191 Tuffy K. Linke B. Sullivan M. *The Effect of Dressing Parameters and Grit Size Selection for Vitrified Superabrasive Wheels for High Specific Grinding Energy Applications*, Industrial Diamond Review, 2006, pp. 66(2), 59–63
- 192 Varghese B., Hare S. P., Gao R., Guo C., Malkin S. *Development of a Sensor-Integrated ‘Intelligent’ Grinding Wheel for In-Process Monitoring*, Annals of the CIRP, vol. 49, no. 1, 2000, pp. 265-270
- 193 Voicu S.M. *Contribuții privind generarea tehnologiei de prelucrare pe mașini cu comandă numerică prin intermediul calculatorului, a frezelor cilindro-frontale profilate*, Teză de doctorat, Univ. Tehnică din Cluj-Napoca, 1998
- 194 Voicu S.M., Muțiu N.C., Brîndașu D. *Proiectarea asistată și execuția burghiilor pentru găuri adânci pe MU-CN asistate de computer*, Conferința internațională de inginerie integrată C2I, Timișoara, 2002
- 195 Voineagu, V., Colibaba, D., Grădinaru, G. *Statistica. Noțiuni fundamentale și aplicații*, Editura ASE, București 2002
- 196 Vulc, S. *Grinding surfaces of the carbide drills for deep holes*, the 11th International Conference of Modern Technologies in Manufacturing, Cluj

- Napoca, 2013
- 197 Vulc, S., Brîndașu, P.D., Beju, L. D., Ință, M. *Optimization of grinding process parameters for DK460UF carbide using Design - Expert software*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2013
- 198 Vulc, S., Brîndașu, P.D., Beju, L. D. *A Parameters Synthetis of Grinding Process Modelling for Carbide Drills Deep Holes and Small Diameter*, IMT Oradea, 2013
- 199 Vulc, S., Brîndașu, P.D. *Study of the surface roughness of carbide blanks processed by grinding*, the 11th International Conference of Modern Technologies in Manufacturing, Cluj Napoca, 2013
- 200 Wang S., Li C. H. *Application and Development of High-efficiency Abrasive Process*, International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 47, October, 2012
- 201 Wang X.Y., Kang R.K., Xu W.J., Wang L.J., Guo D.M. *Modeling of Laser Dressing for Metal-bond Diamond Grinding Wheel*, Key Engineering Materials, 2007, pp. 329:145–150
- 202 Warkentin A., Bauer R. *Analysis of Wheel Wear Using Force Data in Surface Grinding*, Transaction of the CSME/de la SCGM, 2003, pp. 27(3):193–204.
- 203 Warnecke G., Zitt U. *Kinematic Simulation for Analyzing and Predicting High-Performance Grinding Processes*, Annals of CIRP, vol. 47, no. 1, 1998, pp. 265 -270
- 204 Wegener K., Hoffmeister H.W., Karpuschewski B., Kuster F., Hahmann W.C. *Conditioning and monitoring of grinding wheels*, CIRP Annals - Manufacturing Technology 60, 2011, pp. 757–77
- 205 Weingartner E., Jaumann S., Kuster F., Boccadoro M. *Special Wire Guide for On-machine Wire Electrical Discharge Dressing of Metal Bonded Grinding Wheels*, Annals of the CIRP, 2010, pp. 59(1):227–230
- 206 Weingartner E., Jaumann S., Wegener K., Kuster F. *On-machine Wire Electrical Discharge Dressing (WEDD) of Metal Bonded Grinding Wheels*, International Journal of advanced Manufacturing Technology, 2009, 45(9–12):1001–1007
- 207 Wylecial, T., Radomiak, H., Urbaniak, D. *Modeling of the Process of Coal Grinding*, ISSN 0543-5846, METABK, 2013, pp. 52(2) 201-203
- 208 Xiaorui Fan, Michele Miller *Force analysis for segmental grinding*, Michigan Technological University, Houghton, MI, 2009
- 209 Xie, J., Zheng, J.H., Zhou, R.M., Lin, B. *Dispersed grinding wheel profiles for accurate free form surfaces*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 51, 2011, pp. 536–542
- 210 Xie J. *A Study on Surface Generation of Metal-bonded Diamond Grinding Wheel Dressed by Electro-Contact Discharge*, Key Engineering Materials, 2006, pp. 304–305:76–80
- 211 Xie J., Liu Y.J., Tang Y. *Ground Surface Integrity of Granite by Using Dry Electro-contact Discharge Dressing of Diamond Grinding Wheel*, Journal of Materials Processing Technology, 2009, pp. 209(18–19):6004–6009
- 212 Xie J., Tamaki J. *In-process Evaluation of Grit Protrusion Feature for Fine Diamond Grinding Wheel by Means of Electro-contact Discharge Dressing*, Journal of Materials Processing Technology, (2006), 180:83–90
- 213 Xie J., Tamaki J., Tang Y. *Arc Envelope Truing of Metal-bonded Diamond Grinding Wheel by Use of Cone-shaped Truer*, Key Engineering Materials, 2006, pp. 315–316:421–424
- 214 Xipeng Xu, Yiqing Yu *Adhesion at abrasive-Ti6Al4V interface with elevated grinding temperatures*, Journal of Materials Science Letters August, 2002, Volume 21, Issue 16, pp 1293-1295
- 215 Xuekun, Li *Modeling and simulation of grinding processes based on a virtual wheel model and microscopic interaction analysis*, 2010
- 216 Yamada K., Togo S., Tomita Y., Yamane Y., Sekiya K. *Laser Assisted Truing for Metal-bonded Diamond Wheel*, Key Engineering Materials, 2009, pp. 407–408:122–125
- 217 Yan, Y., Xu, J. *Suppressing Chatter in a Plunge Grinding Process: Application of Variable Rotational Speed of Workpiece*, Applied Mechanics and Materials, Vols., 2013, pp. 249-250
- 218 Yoshihara N., Ma M., Yan J., Kariyagawa T. *Electrolytic Conditioning of Resin–Metal-Bonded Diamond Grinding Wheels*, International Journal of Abrasive Technology, 2007, pp. 1(1):136–142
- 219 Yuan, Y., Li, B., Zhou, Z., Zhang, Q. *Study on the Simulation Model and Characteristics of High-Speed*

- 220 Zelwer, O., Malkin, s. *Grinding for Ceramics*, Advanced Materials Research Vols. ,2012, pp. 138-139, pp 662-667
- 221 Zeng J.Y., Wu S., Kim T.J. *Grinding of WC-Co cemented carbides, Part 2*, Ind. Diamond Rev. May, 1974, pp. 173-176
- 222 Zhang C., Shin Y.C. *Development of Parameter Prediction Model for Abrasive Water Jet Truing*, Proceedings 12th International Symposium on Jet Cutting Technology, 1994, pp. 601–617
- 223 Zhao H. H., Feng B. F., Cai G. Q. *Wear of Diamond Dresser in Laser-assisted Truing and Dressing of Vitrified CBN Wheels*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2003, pp. 43:41–49
- 224 Zhong, Z.W., Venkatesh, V.C. *Study of Ultra-high Speed Grinding Mechanism with Molecular Dynamics Simulation*, Key Engineering Materials, 2004, pp. 259-260:302-306
- 225 Zhou L., Shimizu J., Muroya A. *Recent developments in grinding of advanced materials*, International Journal Advanced Manufacturing Technologies, 2009
- 226 Zhichao, Li *Material removal mechanism beyond plastic wave propagation rate*, Precision Engineering, vol. 27, 2003, pp. 109-116
- 227 *** *Modeling, Analysis, and Experimental Investigations of Grinding Processes*, B. Eng., Tianjin University of Technology & Education, 2006
- 228 *** *Note de curs*
- 229 *** <http://www.ro.wikipedia.org>
- 230 *** <http://www.foldoc.org/>
- 231 *** http://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle_management
- 232 *** <http://www.carbochim.ro>
- 233 *** *Training Guide DOE ++Relia Soft*
- 234 *** www.kistler.com
- 234 *** <http://www.diametal.ch/en/>