

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI
FACULTATEA DE MECANICĂ**



Ing. Nicușor BAROIU

**CERCETĂRI PRIVIND COMPORTAREA ÎN
AȘCHIERE A BURGHIELOR ELICOIDALE CU
TREI TĂIȘURI CURBE ȘI CU SUPRAFAȚĂ DE
AȘEZARE HIPERBOLOIDALĂ**

- REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT -

Conducător științific:
Prof. dr. ing. Nicolae OANCEA

GALAȚI – 2013

DECIZIA
nr. **827/16.05.2013**

În conformitate cu prevederile Legii Educației Naționale nr. 1/05.01.2011, ale Codului studiilor universitare de doctorat și ale Regulamentului instituțional privind organizarea și desfășurarea studiilor universitare de doctorat;

în baza referatului conducătorului științific **Prof.univ.dr.ing. Nicolae OANCEA**;
conform aprobării Consiliului școlii doctorale din data de **29.04.2013**;

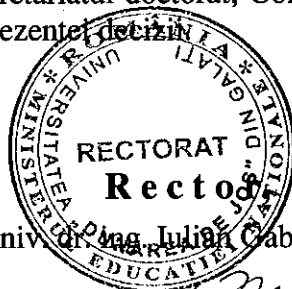
în baza Ordinului Ministrului Educației, Cercetării, Tineretului și Sportului nr. 3288/20.02.2012 privitor la numirea rectorului;

Rectorul universității decide:

Art. 1. Se numește comisia pentru evaluarea și susținerea publică a tezei de doctorat de către doctorandul(a) **ing. BAROIU D. NICUȘOR**, domeniul **Inginerie industrială**, în următoarea componență :

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. Președinte | Prof.univ.dr.ing. Elena MEREUȚĂ
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați |
| 2. Conducător de doctorat | Prof.univ.dr.ing. Nicolae OANCEA
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați |
| 3. Referent oficial | Prof.univ.dr.ing. Dumitru AMARANDEI
Universitatea „Ștefan Cel Mare” Suceava |
| 4. Referent oficial | Prof.univ.dr.ing. Cristian-Gheorghe CROITORU
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” Iași |
| 5. Referent oficial | Prof.univ.dr.ing. Radu-Gabriel FRUMUȘANU
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați |

Art. 2. Școala doctorală, Secretariatul doctorat, Compartimentul salarizare și Biroul financiar vor duce la îndeplinire prevederile prezentei decizii



Prof. univ. dr. ing. **Julian Gabriel BÎRSAN**

MULŢUMIRI

În momentul finalizării unei teze de doctorat, gândurile oricărui doctorand se îndreaptă către cei care au contribuit la elaborarea şi fundamentarea ştiinţifică a acesteia, la concepţie, conţinut şi formă, lucru ce nu ar fi fost posibil fără un sprijin ştiinţific, uman şi logistic al unui număr important de persoane şi instituţii, cărora doresc să le mulţumesc şi cărora le datorez toată recunoştinţa mea.

Cele mai alese mulţumiri se îndreaptă către Domnul Prof. dr. ing. Nicolae OANCEA, coordonatorul ştiinţific al acestei teze, pentru încrederea şi sprijinul pe care mi le-a acordat încă de la intrarea mea în Departamentul Ingineria Fabricaţiei, moment în care multiple aspecte legate de termenul generic de *Manufacturing* au căpătat o altă dimensiune pentru mine, pentru răbdarea, înţelegerea şi entuziasmul Dumnealui, pentru calmul şi echilibrul interior insuflat în permanenţă.

Rezultatele obţinute nu ar fi fost posibile dacă nu aveam alături persoane de o valoare incontestabilă şi o conduită profesională exemplară, al căror suport şi contribuţie au dus la îmbunătăţirea cunoştinţelor mele teoretice şi la perfecţionarea în acest domeniu. Cu siguranţă, numele tuturor celor care au avut un rol major de la momentul începerii acestui demers ştiinţific şi până la finalizarea lui, ar putea scrise pe pagini întregi, fapt ce m-ar situa în dificila poziţie de a decide ordinea.

Sincere mulţumiri aduc conducerii Consiliului pentru Studii Universitare de Doctorat, conducerii Şcolii Doctorale de Inginerie, în speţă Prof. dr. ing. Ionel Chirică şi Prof. dr. ing. Elena Scutelnicu (domeniul de studii universitare de doctorat Inginerie Industrială). Mulţumesc conducerii Departamentului Ingineria Fabricaţiei, conducerii Facultăţii de Mecanică şi Rectoratului Universităţii „Dunărea de Jos” din Galaţi pentru sprijinul acordat în perioada stagiului de doctorat şi în diversele demersuri ce au dus la finalizarea tezei. Aduc mulţumirile mele călduroase membrilor comisiei de îndrumare a activităţii doctorale, pentru recomandările competente şi sprijinul oferit cu generozitate pe întreaga perioadă de desfăşurare a doctoratului şi a elaborării tezei de doctorat – Prof. dr. ing. Cătălin Fetecău, Prof. dr. ing. Viorel Păunoiu şi Prof. dr. ing. Gabriel Frumuşanu.

Mulţumesc colegilor din cadrul Departamentului Ingineria Fabricaţiei, pentru sprijinul acordat în diferitele etape de pregătire a tezei de doctorat, în special Prof. dr. ing. Ovidiu Ciocan, Conf. dr. ing. Felicia Stan, Şef lucr. dr. ing. Virgil Teodor, Şef lucr. dr. ing. Dan Cătălin Bîrsan, Şef lucr. dr. ing. Luigi Mistodie, Asist. dr. ing. Carmen Cătălina Rusu, Asist. dr. ing. Florin Susac. De asemenea, colegilor din Departamentul de Organe de Maşini şi Grafică – Prof. dr. ing. Minodora Rîpă, Asist. dr. ing. Silviu Berbinschi, Asist. ing. Virgil Iliuţă şi colegilor din Departamentul de Mecanică Aplicată: Conf. dr. ing. Doina Boazu şi Şef lucr. dr. ing. Elena Felicia Beznea.

Cu respect, aduc cele mai frumoase gânduri de mulţumire referenţilor oficiali ai acestei teze, în special domnilor Prof. dr. ing. Dumitru Amarandei – Universitatea „Ştefan cel Mare” Suceava şi Prof. dr. ing. Cristian Croitoru – Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” din Iaşi, care, cu răbdare şi îngăduinţă, au analizat prezenta lucrare şi au contribuit la nivelul ştiinţific ridicat al acesteia.

Programul de cercetare experimentală s-a desfăşurat şi cu sprijinul societăţii Promesx SA Brăila, prin domnul ing. Nicolae Dumitraşcu, a societăţii româno-belgiene SC Sidem SRL Suceava – prin bunăvoinţa domnului director Alin Covaşă, a societăţii româno-elveţiene Tools Wizard GmbH Elveţia, membru al grupului System V&, Sibiu, România – prin ajutorul acordat de domnii dr. ing. Sorin Voicu şi dr. ing. Călin Nicolae Muţiu, Universitatea Tehnică „Gh. Asachi” Iaşi – Facultatea de Construcţii de Maşini şi Management Industrial, Universitatea „Ştefan cel Mare” Suceava – Facultatea de Inginerie Mecanică, Mecatronică şi Management. Nu aş vrea să trec cu vederea, fără mulţumiri, pe membrii echipelor tehnice, fără de care nu aş fi reuşit să duc la bun sfârşit planurile experimentale, cu mulţumiri deosebite domnului tehnician Eugen Grigoriţă – Universitatea „Dunărea de Jos”, domnului Maricel Alexe şi domnilor Ing. Alin Bădăluţă şi Ing. Horia Popinceanu – SC Sidem SRL Suceava. De asemenea, sugestiile şi recomandările acordate de colegii tineri doctoranzi – Ing. Daniel Valentin Dobrea, Ing. Daniel Viorel Vlad, Ing. Laurenţiu Sandu şi Ing. Cosmin Alexandru Vasilache au contribuit la acest tot unitar, teza în sine.

Nu în ultimul rând, aş dori să mulţumesc familiei mele pentru înţelegerea şi sprijinul moral acordat în perioada de pregătire şi elaborare a tezei de doctorat.

CUPRINS	Pag.	
	Tez	Rez
Capitolul 1 - Consideraţii asupra stadiului actual al construcţiei şi performanţelor burghiilor elicoidale	6	6
1.1. Introducere	6	6
1.2. Determinarea forţelor şi momentelor în procesul de aşchiere prin burghiere	7	6
1.2.1. Aspecte teoretice privind forţa axială şi momentul de aşchiere la burghiere	7	6
1.2.2. Modele analitice pentru evaluarea forţei axiale şi a momentului de torsiune la burghiere ...	9	7
1.2.3. Modele numerice pentru evaluarea forţei axiale şi a momentului de torsiune la burghiere ..	12	7
1.2.4. Modele experimentale pentru evaluarea forţei axiale şi a momentului de torsiune la burghiere	13	7
1.3. Aspecte privind transferul termic în procesul de aşchiere cu burghie elicoidale	14	8
1.3.1. Aspecte teoretice privind transferul termic în procesul de burghiere	14	8
1.3.2. Modele teoretice pentru studiul transferului termic la burghiere	17	8
1.3.3. Modele cu elemente finite pentru studiul transferului termic la burghiere	18	9
1.3.4. Modele experimentale pentru studiul transferului termic la burghiere	19	9
1.4. Aspecte privind uzura şi durabilitatea burghiilor elicoidale	23	9
1.4.1. Factori care influenţează uzura burghiilor	23	9
1.4.2. Determinarea experimentală a durabilităţii burghiilor	28	10
1.5. Aspecte referitoare la rugozitatea suprafeţelor prelucrate prin burghiere	30	11
1.5.1. Aspecte teoretice generale privind rugozitatea suprafeţelor	30	11
1.5.2. Influenţa regimului de aşchiere şi a geometriei sculelor asupra rugozităţii suprafeţei prelucrate prin burghiere	31	-
1.6. Aspecte ale studiului geometriei burghiilor elicoidale. Procedee de ascuţire a burghiilor elicoidale	33	11
1.6.1. Elementele caracteristice ale geometriei burghiilor elicoidale	33	11
1.6.2. Procedee de ascuţire a burghiilor elicoidale cu două tăşuri rectilinii	34	11
1.6.3. Procedee de ascuţire a burghiilor elicoidale multi-tăiş	37	12
1.6.4. Procedee de ascuţire a burghiilor elicoidale cu tăşuri curbe	38	12
1.7. Concluzii şi direcţii de cercetare	41	14
Capitolul 2 - Sinteza procedurii de ascuţire hiperboloidală a burghiilor multi-tăiş curb	44	14
2.1. Introducere	44	14
2.2. Mărimea încărcării energetice unitare în lungul tăişului principal	44	14
2.3. Cinematica procedurii de ascuţire hiperboloidală	49	17
2.4. Modelarea analitică a suprafeţei de ascuţire hiperboloidală	50	18
2.4.1. Modelul analitic al suprafeţei de aşezare	50	18
2.4.2. Caracteristicile şi forma muchiei de aşchiere	52	18
2.5. Suprafaţa şi unghiul de aşezare	54	19
2.5.1. Legea de variaţie a mărimii unghiului de aşezare în lungul muchiei de aşchiere principale ..	54	19
2.5.2. Detalonarea suprafeţei de aşezare	58	20
2.6. Suprafaţa şi unghiul de degajare	61	22
2.6.1. Geometria canalului elicoidal al burghiului cu tăşuri curbilunii	62	22
2.6.2. Unghiul de degajare posterior	63	22
2.6.3. Unghiul de degajare normal	64	23
2.6.4. Unghiul de degajare lateral	65	24
2.6.5. Aplicaţii numerice	66	24
2.7. Model analitic generalizat al suprafeţei de aşezare	69	25
2.7.1. Model analitic al legii de variaţie a unghiului de aşezare la procedeul de ascuţire cilindric ..	69	25
2.7.2. Model analitic al legii de variaţie a unghiului de aşezare la procedeul de ascuţire conic	70	25
2.7.3. Aplicaţii numerice ale modelelor analitice ale legilor de variaţie a mărimii unghiului de aşezare (procedeele de ascuţire cilindric şi conic)	72	-
2.8. Metodă grafică pentru studiul procedurilor de ascuţire cilindric şi conic	73	26
2.9. Echipament pentru ascuţirea după o suprafaţă hiperboloidală	75	27
2.10. Concluzii	76	27

Capitolul 3 - Profilarea sculei de ordinul doi pentru generarea canalului elicoidal	78	28
3.1. Introducere	78	28
3.2. Suprafaţa elicoidală compusă a canalului elicoidal al burghiului multi-tăiş curb	78	28
3.3. Algoritm pentru profilarea suprafeţii periferice a sculei disc	82	30
3.4. Metodă grafică de profilare a sculei disc	89	32
3.5. Aplicaţii numerice	91	33
3.6. Concluzii	94	34
Capitolul 4 - Modele tridimensionale ale burghiilor elicoidale multi-tăiş cu trei tăişuri curbe	95	34
4.1. Modelarea 3D a burghiilor elicoidale în mediul de proiectare grafică CATIA	95	34
4.1.1. Modelarea unui burghiu elicoidal cu două tăişuri rectilinii	95	34
4.1.2. Modelarea unui burghiu elicoidal cu trei tăişuri curbilinii	101	36
4.2. Modelarea burghiului elicoidal cu tăişuri curbe prin digitizare	104	38
4.2.1. Sistemul de digitizare şi metodologia de lucru	104	38
4.2.2. Obţinerea modelului 3D al burghiului prin inginerie inversă	106	38
Capitolul 5 - Utilizarea metodei cu elemente finite în modelarea fenomenelor specifice procesului de burghiere	110	39
5.1. Introducere	110	39
5.2. Starea de tensiuni şi modelarea cu elemente finite a deformaţiei totale pentru burghiile multi-tăiş curb	111	39
5.3. Utilizarea metodei cu elemente finite în modelarea transferului de căldură în burghiul elicoidal – studiu comparativ	124	45
Capitolul 6 – Cercetări experimentale privind comportarea în aşchiere a burghiilor elicoidale cu trei tăişuri curbe	130	47
6.1. Premisele cercetării experimentale	130	47
6.2. Cercetarea experimentală a temperaturii tăişului burghiului prin simularea prin strunjire a legii de variaţie a vitezei de aşchiere la burghiere în lungul tăişului	132	48
6.2.1. Descrierea echipamentului şi a metodologiei de cercetare experimentală	132	48
6.2.2. Rezultate obţinute şi interpretarea măsurărilor	137	50
6.3. Cercetări experimentale privind mărimea forţei axiale şi a momentului la aşchiera cu burghie elicoidale multi-tăiş curb	140	51
6.3.1. Descrierea echipamentului şi a metodologiei de cercetare experimentală	140	51
6.3.2. Rezultate obţinute şi interpretarea măsurărilor	143	53
6.4. Cercetări experimentale privind rugozitatea suprafeţelor prelucrate cu burghie elicoidale multi-tăiş curb	156	59
6.4.1. Model geometric simplificat al rugozităţii suprafeţelor obţinute la prelucrarea cu burghiul cu două tăişuri rectilinii	156	59
6.4.2. Model geometric simplificat al rugozităţii suprafeţelor obţinute la prelucrarea cu burghiul cu trei tăişuri curbilinii	158	60
6.4.3. Descrierea echipamentului şi a metodologiei de cercetare experimentală	161	62
6.4.4. Rezultate obţinute şi interpretarea măsurărilor	163	63
6.5. Cercetări experimentale privind uzura în aşchiere a burghiilor elicoidale multi-tăiş cu tăişuri curbe	167	65
6.5.1. Metodologia de cercetare experimentală	167	65
6.5.2. Rezultate obţinute şi interpretarea măsurărilor	172	67
Capitolul 7 - Concluzii generale şi contribuţii personale	178	71
Bibliografie	182	74
Anexe	194	-
Curriculum Vitae – N. Baroiu	254	78

Capitolul 1 CONSIDERAȚII ASUPRA STADIULUI ACTUAL AL CONSTRUCȚIEI ȘI PERFORMANȚELOR BURGHIELOR ELICOIDALE

1.1. Introducere

Prelucrarea prin aşchiere are încă o pondere însemnată, estimările arătând că în întreprinderile din industria constructoare de mașini, aceasta reprezintă între 60-70% din totalul manoperei de uzinare [57]. Dintre procedeele de prelucrare prin aşchiere, burghierea reprezintă un proces deosebit de utilizat – circa 36% din totalul prelucrărilor prin aşchiere [39]. În ceea ce privește ponderea procesului de găurire din totalul prelucrărilor ce definesc un anumit reper, exemplificative sunt figurile 1.1 și 1.2, în care se prezintă ponderea operațiilor de găurire cu burghie HSS a două reperi de autovehicul (un cheson de uşă și o dublură de capotă), realizate în cadrul Grup Renault România, Serviciul Tehnic - Matrițe Dacia [69].

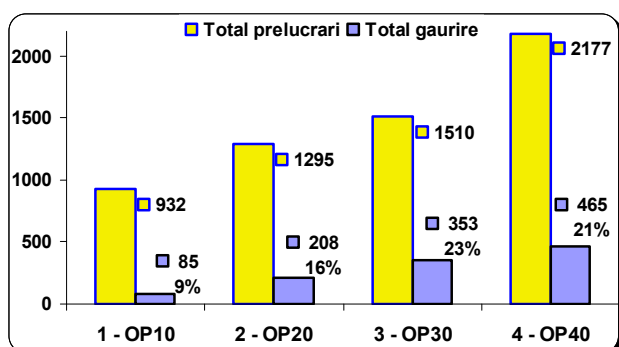


Fig. 1.1. Ponderea operațiilor de găurire din total prelucrări, pentru reperul cheson uşă [69]

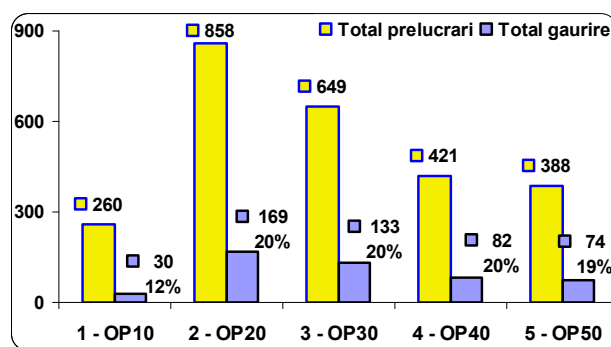


Fig. 1.2. Ponderea operațiilor de găurire din total prelucrări, pentru reperul dublură capotă [69]

Importanța procesului de găurire cu burghie HSS poate fi evidențiată și din figura 1.3, în care se prezintă câteva reperi din industria auto, realizate în cadrul SC Sidem Suceava [70]. În cazul reperelor produse în cadrul acestei companii, un procent de 10÷11% este alocat procesului de găurire cu burghie HSS, în special în etapele de pregăurire. În schimb, la lucrările de întreținere, utilizând mașini de strunjit și găurit clasice, procentul de utilizare a burghiilor HSS poate ajunge până la 90%.



Fig. 1.3. Braț din oțel (a); cap de bară (b) - pregăurire cu burghie HSS – Ø18÷Ø22 mm [70]

Chiar dacă durata de viață este mai redusă, comparativ cu cea a burghiilor armate cu plăcuțe mineralo-ceramice sau carburi metalice și chiar dacă se folosesc uzual pe mașinile convenționale, ponderea, încă însemnată a burghiilor HSS, mai ales a celor cu diametre cuprinse între Ø12÷Ø20mm, este semnificativă, ceea ce impune noi abordări a creșterii capacității lor de aşchiere.

1.2. Determinarea forțelor și momentelor în procesul de aşchiere prin burghiere

1.2.1. Aspecte teoretice privind forța axială și momentul de aşchiere la burghiere

În procesul de aşchiere cu burghie cu tăişuri rectilinii, forțele ce acționează asupra burghiului sunt deduse prin analogie cu forțele ce acționează pe tăișul unui cuțit la strunjirea ortogonală [28], [54], [63]. La burghiere, forțele de aşchiere care acționează pe cele două tăişuri principale ale burghiului,

în condiţiile raportării sculei aşchietoare faţă de un sistem de referinţă triortogonal, se pot descompune în componentele, figura 1.4 [4]: componentele axiale, F_{z1} şi F_{z2} , pe direcţia axei burghiului; componentele tangenţiale, F_{x1} şi F_{x2} , pe direcţia mişcării principale de aşchiere şi care determină momentul de torsiune, M_{dr} ; componentele radiale, F_{y1} şi F_{y2} . Pe baza acestora, s-a impus imaginarea unor metode de predicţie a mărimii lor, grupate în metode analitice, numerice şi metode experimentale [14], [28], [33].

1.2.2. Modele analitice pentru evaluarea forţei axiale şi a momentului de torsiune la burghiere

Modelul clasic, realizat de I. Lăzărescu [34], acceptă o similitudine între strunjire şi burghiere, fiind un model analitic de determinare a forţei de aşchiere axială şi a momentului de torsiune apărut în urma aşchierii - figura 1.5. Enache, Şt. şi Belous, V. [53], propun pentru calculul forţei axiale a burghiului, de asemenea, pentru forţa principală de aşchiere şi pentru momentul de torsiune relaţiile următoare:

$$F_A = C_{F1} \cdot D^{zF} \cdot s^{yF} \cdot (HB)^{nF} \cdot K_F \text{ [daN]} \quad (1.1)$$

$$M_T = C_{M1} \cdot D^{zM} \cdot s^{yM} \cdot (HB)^{nM} \cdot K_M \text{ [daN} \cdot \text{m]} \quad (1.2)$$

D este diametrul burghiului [mm]; s - avansul [mm/rot]; C_F - coeficientul de corecţie al forţei de aşchiere axiale; C_M - coeficientul de corecţie al momentului de torsiune; x_F şi y_F - exponenţi utilizaţi pentru determinarea forţei de aşchiere axiale; x_M şi y_M - exponenţi utilizaţi pentru determinarea momentului de torsiune, n_M , n_F - coeficienţi determinaţi experimental.

1.2.3. Modele numerice pentru evaluarea forţei axiale şi a momentului de torsiune la burghiere

Pentru punerea în aplicare a algoritmilor de optimizare, forţele şi momentele de aşchiere trebuie definite prin modele numerice. Astfel, s-au impus şi cele bazate pe simulările realizate în mediul CAD [88], [55], reţele neuronale, logică euristică (fuzzy logic), metode de planificare experimentală Taguchi, Anova etc. [56], [62]. Metoda elementului finit poate oferi un sistem unitar de abordare virtuală a procesului de găurire, pachetele soft de analiză cu elemente finite (Ansys, Abaqus, Femap, Deform, AdvantEdge etc.) sunt utilizate frecvent, cu numeroase cercetări în acest domeniu [1], [24], [40], [50], [53].

1.2.4. Modele experimentale pentru evaluarea forţei axiale şi a momentului de torsiune la burghiere

Asupra mărimii forţelor de aşchiere influenţează o multitudine de factori, care interacţionează complex, cei mai des întâlniţi în determinările experimentale fiind următorii: materialul prelucrat, regimul de aşchiere, geometria sculei aşchietoare, mediul de lucru, materialul părţii aşchietoare,

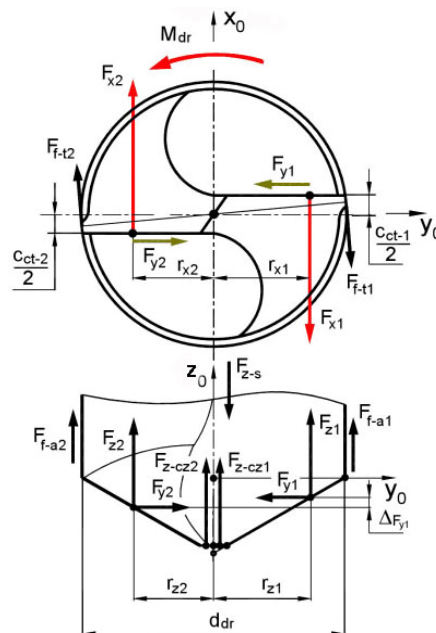


Fig. 1.4. Distribuţia forţelor la un burghiu elicoidal [4]

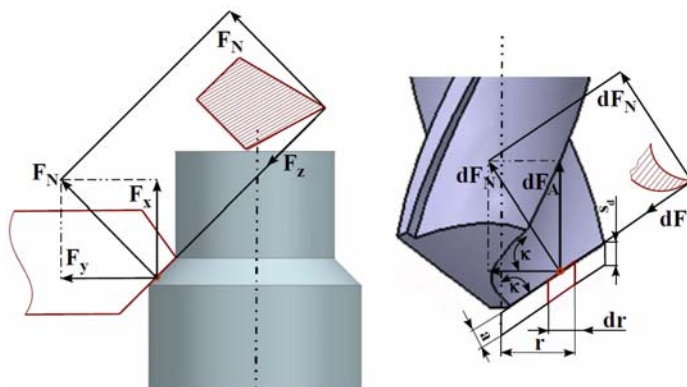


Fig. 1.5. Componentele forţelor de aşchiere şi analogia dintre procesul de strunjire şi cel de burghiere [34]

lubrifianţul, vibraţiile etc. [6], [21], [26], [52], [66]. S-au realizat geometrii ale burghiului [7], [8], [15], care conduc la o scădere esenţială a forţei axiale sau a momentului de torsiune.

Cercetări experimentale [9], [26], [53], au determinat influenţa elementelor regimului de aşchiere asupra forţei axiale şi a momentului în procesul de burghiere, arătând că o creştere a avansului conduce la o creştere a forţei axiale şi a momentului.

1.3. Aspecte privind transferul termic în procesul de aşchiere cu burghie elicoidale

În procesul de burghiere, mai mult de 90% din lucrul mecanic de deformare plastică este transformată în căldură prin deformare volumică [36].

1.3.1. Aspecte teoretice privind transferul termic în procesul de burghiere

Transferul de căldură are loc prin trei mecanisme distincte: convecţie, conducţie şi radiaţie termică [44].

Convenţional, se poate considera că, există trei surse de căldură, figura 1.6 [19]: planul de forfecare; suprafaţa de degajare a sculei; faţa de aşezare a sculei.

Dacă se notează cu Q_ϕ , Q_γ şi Q_α cantitatea de căldură provenită din aceste surse, atunci, cantitatea totală de căldură este dată de relaţia

$$Q = Q_\phi + Q_\gamma + Q_\alpha \quad [J]. \quad (1.3)$$

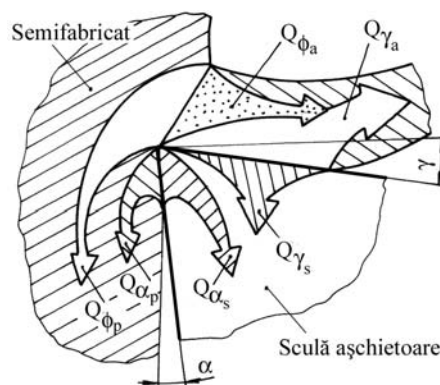


Fig. 1.6. Surse de căldură la aşchiere [19]

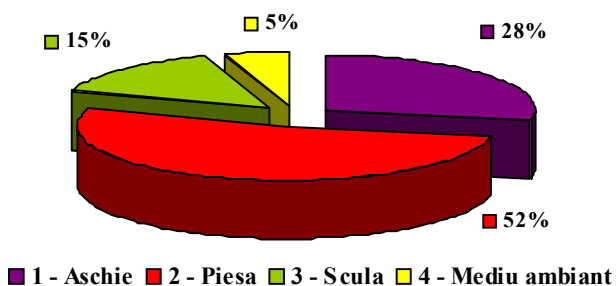


Fig. 1.7. Repartizarea cantității de căldură la burghiere [60]

Căldura degajată se propagă în aşchie, sculă, piesă şi mediul înconjurător.

La burghiere, repartizarea căldurii este de forma: 28% în aşchie; 52% în piesă; 15% în sculă; 5% în mediul ambiant, figura 1.7 [19].

Din punct de vedere practic, sunt de luat în considerare numai temperatura piesei (sub aspectul dilatărilor termice şi a modificărilor de structură metalografică), temperatura aşchiei, respectiv, temperatura tăişului sculei.

1.3.2. Modele teoretice pentru studiul transferului termic la burghiere

Căldura dezvoltată în procesele de aşchiere a fost investigată atât experimental, cât şi analitic. Pentru a descrie comportamentul materialelor ce se deformează plastic cu viteză mare şi pentru a descrie fenomenele termice ce le însoţesc, s-a încercat corelarea fenomenelor fizice cu modele matematice, elaborându-se, în acelaşi timp, relaţii determinate pe baze empirice. Unul dintre cele mai utilizate modele pentru materiale este modelul Johnson-Cook [25]. Modelul Johnson-Cook este folosit pentru a descrie comportamentul elasto-plastic la deformare:

$$\sigma(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T) = \left[A + B(\varepsilon)^n \right] \cdot \left[1 + C \cdot \ln(\dot{\varepsilon}^*) \right] \cdot \left[1 - (T^*)^m \right], \quad (1.4)$$

în care:

A, B, C, n, m sunt constante ale materialului;

$$\dot{\varepsilon}^* = \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}; \quad (1.5)$$

$\dot{\varepsilon}_0$ - deformaţia specifică incrementală efectivă;

$$T^* = \frac{(T - T_0)}{(T_m - T_0)}; \quad (1.6)$$

T_0 - temperatura de referinţă [K]; T_m - temperatura de topire a materialului aşchiat [K].

Pentru înţelegerea fenomenologiei de transfer termic la burghiere, se porneşte de la ecuaţia generală a transferului termic, raportată la un sistem de referinţă xyz [44]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1.7)$$

în care: $T = T(x, t)$ este temperatura [K]; x, y, z - distanţele în spaţiul tridimensional ortogonal drept [mm]; \dot{q} - sursa internă de căldură [W/m^3]; k - conductivitatea termică a materialului [$W/m \cdot K$]; t - timpul [s]; α - difuzivitatea termică a materialului [m^2/s].

1.3.3. Modele cu elemente finite pentru studiul transferului termic la burghiere

Analiza cu elemente finite se foloseşte pentru estimarea temperaturii la burghiere, în cazul în care sarcinile de flux de căldură aplicate modelului sunt calculate pornind de la ecuaţii analitice specifice sculelor aşchietoare [5], [27], [50], [53].

1.3.4. Modele experimentale pentru studiul transferului termic la burghiere

Majoritatea cercetărilor au avut în vedere dezvoltarea mai multor metode de măsurare a temperaturii la burghiere, printre cele mai uzuale fiind: utilizarea de termocupluri poziţionate în canalul elicoidal sau în interiorul burghiului, măsurarea microdurităţii, scanarea prin microscopie electronică, utilizarea de vopsele termosensibile, termografiere.

Experimental, W. Mieszczak [41], a măsurat temperaturile în mod indirect, prin utilizarea unei camere cu infraroşu şi a unui reflector poziţionat sub piesa de prelucrat, figura 1.8. S-a observat că o scădere a conductivităţii termice duce la creşterea temperaturii, respectiv, creşterea căldurii specifice a materialului de prelucrat, conduce la o creştere a temperaturii.

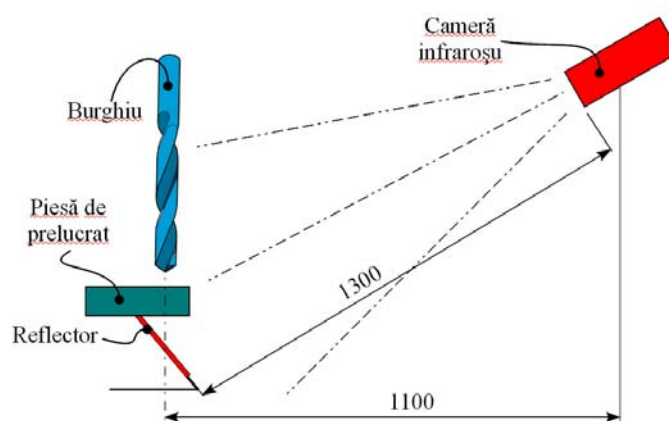


Fig. 1.8. Sistem măsurare temperatură cu cameră infraroşu și reflector [41]

1.4. Aspecte privind uzura și durabilitatea burghiilor elicoidale

1.4.1. Factori care influențează uzura burghiilor

Durabilitate este durata de lucru continuă a sculei între două reascuțiri impuse de atingerea unei mărimi specifice a unui criteriu de uzare. Astfel, diversele cercetări experimentale au pus în evidență influența a mai multor factori asupra durabilității burghiilor elicoidale: viteza de aşchiere [12], [36], [37], [48], mărimea avansului [4], [29], [31], [36], [43], adâncimea de găurire, geometria sculei, materialul sculei și calitatea materialului prelucrat, materialele de acoperire ale suprafețelor active ale burghiilor, lichidele de răcire și ungere etc.

Influența parametrilor geometrici ai burghiilor elicoidale

Unii cercetători [2], [7], [12], au realizat studii comparative pentru geometrii diferite ale burghiilor elicoidale cu scopul de a evidenția influența acestora asupra durabilității. De exemplu, s-a evidențiat

faptul că, mărimea unghiului de aşezare al tăişului principal la periferia burghiului are un grad ridicat de influenţă asupra durabilităţii [12], [36], [65].

Cercetări teoretice şi experimentale [11], [29], [34], au arătat că, detalonarea faţetelor burghiului poate determina mărirea durabilităţii acestuia.

Geometria specifică burghiilor cu trei tăişuri a fost pusă în evidenţă de mai mulţi cercetători [3], [49], [51], figura 1.9, care au studiat efectul acestei geometrii asupra uzurii la prelucrarea unor piese din diverse materiale, arătând creşteri ale duratei de viaţă a sculelor de acest tip.

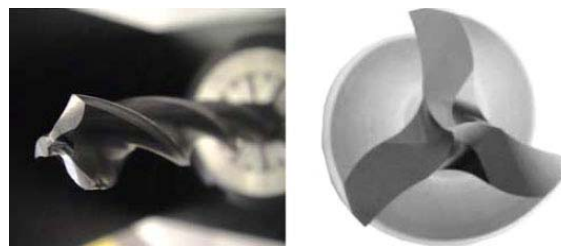


Fig. 1.9. Geometrie specifică burghiilor cu trei tăişuri [49]

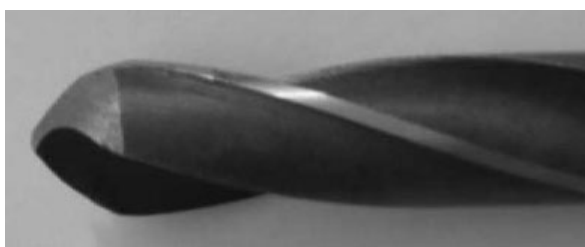


Fig. 1.10. Geometrie cu unghi de atac variabil [16]

Burghiile cu tăişuri cu unghi de atac variabil constituie o soluţie, care a fost realizată sub forma burghiilor cu tăişuri curbe [16], figura 1.10, care a demonstrat performanţele de aşchiere ale acestora faţă de burghiile cu tăişuri rectilinii. Astfel, s-a demonstrat modul în care tăişurile curbe au o influenţă asupra mărimii forţelor şi momentului de aşchiere, a creşterii durabilităţii burghiilor şi a îmbunătăţirii rugozităţii suprafeţelor aşchiate.

durabilităţii burghiilor şi a îmbunătăţirii rugozităţii suprafeţelor aşchiate.

1.4.2. Determinarea experimentală a durabilităţii burghiilor

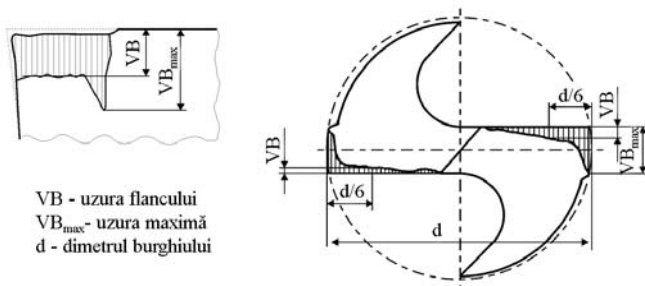


Fig. 1.11. Uzura feţei de aşezare [12]

Cea mai frecventă încercare este încercarea uzură-timp, măsurătorile experimentale uzură-timp raportându-se în diagrame dublu logaritmice $\log T - \log v$, în care T este durabilitatea sculei [min].

Aceste curbe $v_c - T_c$ pot fi luate în considerare liniare pentru o anumită gamă de viteze. Ecuaţia pentru această porţiune liniară a curbelor a fost descrisă de Taylor, [ISO 3695:1993]

$$v_c \cdot T_c^{-1/k} = C \quad (1.8)$$

în care: v_c este viteza de aşchiere [m/min]; T_c – durabilitatea [min]; $k = \operatorname{tg} \alpha$ – panta dreptei; C – constantă care depinde de proprietăţile fizice ale materialului prelucrat şi de parametrii regimului de aşchiere.

Panta dreptei durabilitate-viteză, figura 1.12, reprezintă exponentul k din relaţia Taylor, definită în standard

Problematica uzurii sculelor aşchietoare şi a evaluării durabilităţii acestora este definită într-un număr însemnat de lucrări [12], [13], [37], [47], [65]. În definirea uzurii pe faţa de aşezare se foloseşte criteriul V_B , figura 1.11. Standardul ISO 3695:1993 reglementează testul de uzură a sculelor aşchietoare.

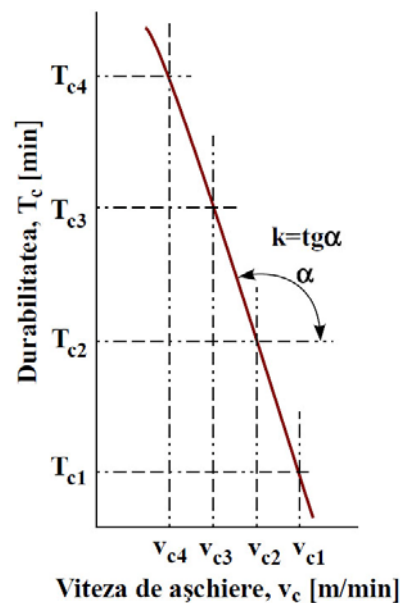


Fig. 1.12. Dependenţa durabilitate-viteză, în coordonate logaritmice

ca ecuaţia durabilităţii. Interpretarea statistică a rezultatelor, conform ISO 3695:1993, presupune acceptarea faptului că regresia durabilitate-viteză este liniară.

1.5. Aspecte referitoare la rugozitatea suprafeţelor prelucrate prin burghiere

1.5.1. Aspecte teoretice generale privind rugozitatea suprafeţelor

Rugozitatea suprafeţelor este definită ca ansamblul neregularităţilor care formează relieful suprafeţelor reale, al căror pas este relativ mic în raport cu adâncimea lor [EN ISO 4287-1997]. Evaluarea numerică a rugozităţii după sistemul liniei medii (sistemul M). Dintre parametrii care caracterizează micro-geometria suprafeţei după direcţia de măsurare, parametrii de înălţime sunt cei mai utilizaţi în definirea formei neregularităţilor suprafeţei, uzual cei mai folosiţi fiind:

- *Abaterea medie aritmetică a profilului*, (R_a), este media aritmetică a valorilor absolute ale abaterilor profilului, $y(x)$, faţă de linia medie, în limitele lungimii de bază:

$$R_a \approx \frac{l}{n} \sum_{j=1}^n |y_j|. \quad (1.9)$$

Abaterea medie pătratică a profilului (R_q) - media pătratică a abaterilor profilului, în limita lungimii de bază:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}. \quad (1.10)$$

1.6. Aspecte ale studiului geometriei burghiilor elicoidale. Procedee de ascuţire a burghiilor elicoidale

1.6.1. Elementele caracteristice ale geometriei burghiilor elicoidale

Elementele geometrice ale părţii active, unghiurile geometrice, statice, pentru un burghiu elicoidal cu două tăişuri rectilinii, sunt reprezentate în figura 1.13 [34].

1.6.2. Procedee de ascuţire a burghiilor elicoidale cu două tăişuri rectilinii

Faţa de aşezare se ascute după o suprafaţă conică, cilindrică, cilindro-eliptică, elicoidală sau plană. Ascuţirile suplimentare se referă la ajustarea tăişului transversal, în sensul micşorării lungimii sale, cu scopul micşorării forţei axiale [7], la modificarea constructivă a părţii aşchiitoare pentru fragmentarea aşchiilor [10], [30], ajustarea faţetelor elicoidale, prin care se obţine o micşorare a frecării tăişurilor secundare cu pereţii laterali ai găurii şi o diminuare a uzurii vârfului principale.

Ascuţirea pe maşini cu comandă numerică (CNC) a suprafeţei de aşezare principale permite obţinerea de forme complexe ale suprafeţelor de aşezare, a zonei tăişului de vârf, precum şi diferite combinaţii ale procedeelelor de ascuţire cunoscute. Cu ajutorul acestor maşini cu comandă numerică, dublate de dezvoltarea mediilor grafice, se pot realiza, practic, toate tipurile de ascuţiri la vârf apărute până în prezent [72], [73]. În figura 1.14, sunt reprezentate câteva exemple de ascuţiri, modelate grafic CAD [67].

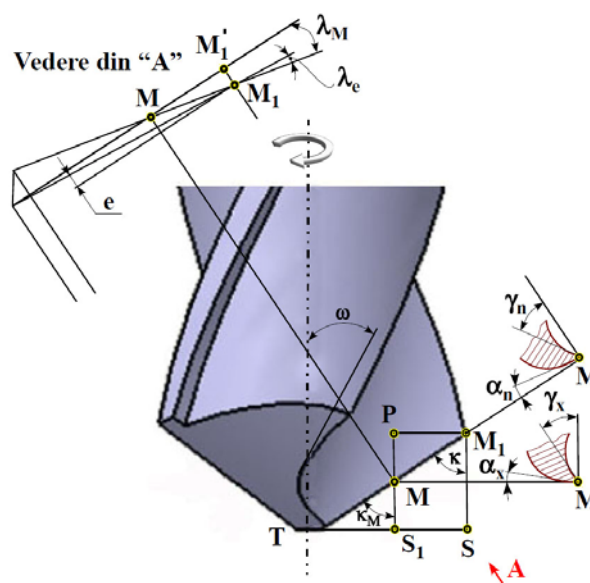


Fig. 1.13. Elementele caracteristice geometriei burghiilor elicoidale [34]

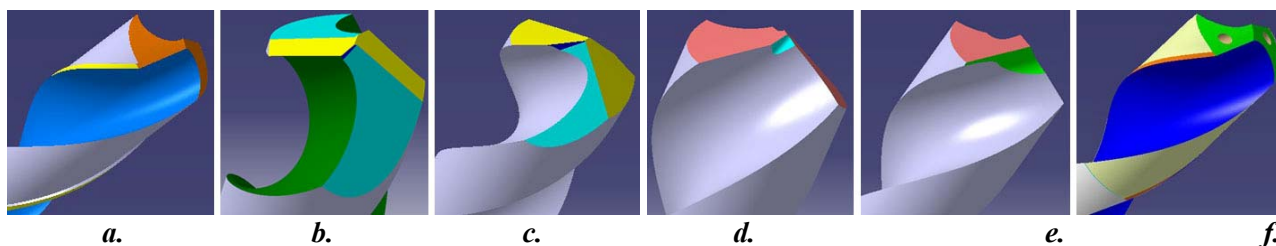


Fig. 1.14. Exemple de ascuţiuri obţinute prin modelarea grafică: conică (a); dublu plană cu vârf piramidal (b); dublu plană cu ajustarea tăişului transversal (c); conică cu ajustarea tăişului transversal (d); conică cu corecţie plană a tăişului principal (e); conică, pentru burghie cu canale de răcire (f) [67]

1.6.3. Procedee de ascuţire a burghiilor elicoidale multi-tăiş

Trecerea de la burghiile standard cu două tăişuri principale la cele multi-tăiş s-a făcut cu scopul îmbunătăţirii stabilităţii axei burghiului în alezaj, apărând totodată şi modificări în ceea ce priveşte forţa axială sau momentul de torsiune.

În tabelul 1.1, sunt definite, exemplificativ, câteva tipuri de ascuţiuri ale burghiilor elicoidale multi-tăiş [23], [68], [73].

Tabelul 1.1. Ascuşiri la vârful burghiilor elicoidale multi-tăiş

Burghiu cu 3 tăişuri – ascuşire standard [23]	Burghiu cu 3 tăişuri şi faşetă – ascuşire standard [73]	Burghiu cu 3 tăişuri – ascuşire suplimentară [73]	Burghiu cu 3 tăişuri şi canale răcire-ungere – ascuşire specifică [68]

1.6.4. Procedee de ascuţire a burghiilor elicoidale cu tăişuri curbe

Pentru ascuşirea burghiilor elicoidale cu tăişuri curbe, trebuie să se ţină cont de suprafaţa de ascuşire (cilindrică, conică, toroidală etc.), dar şi de forma muchiei de aşchiere principală – circulară, eliptică etc. Exemple de procedee de ascuşire a burghiilor elicoidale cu tăişuri curbe:

- *Procedeele de ascuşire cilindrică a burghiului elicoidal multi-tăiş cu muchie de aşchiere curbă, în arc de elipsă [61], figura 1.15;*

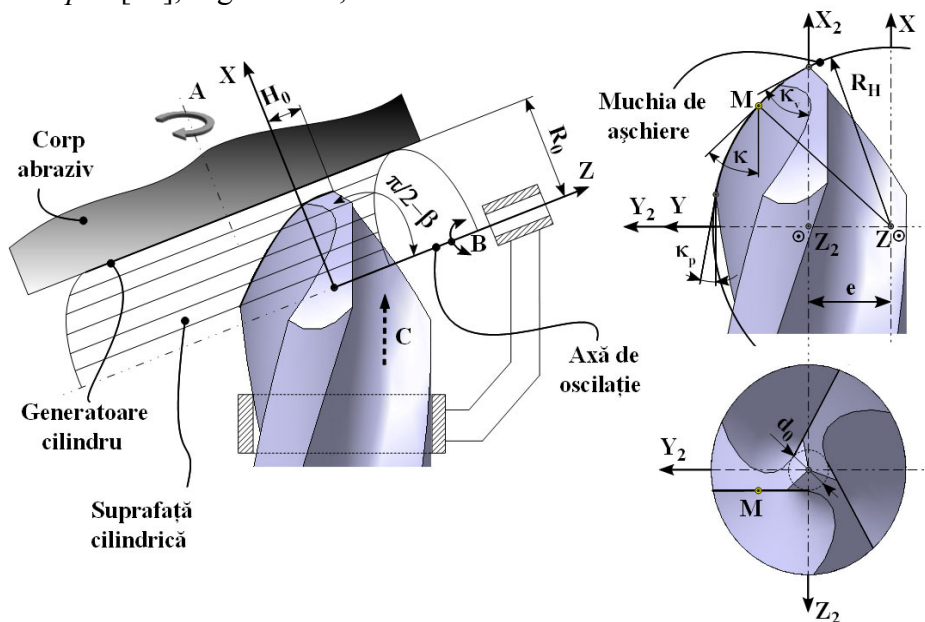


Fig. 1.15. Cinematica generării la ascuşirea cilindrică [61]

- Procedul de așchiere conică a burghiului elicoidal multi-tăiș cu muchie de așchiere curbă, în arc de cerc [46], figura 1.16;

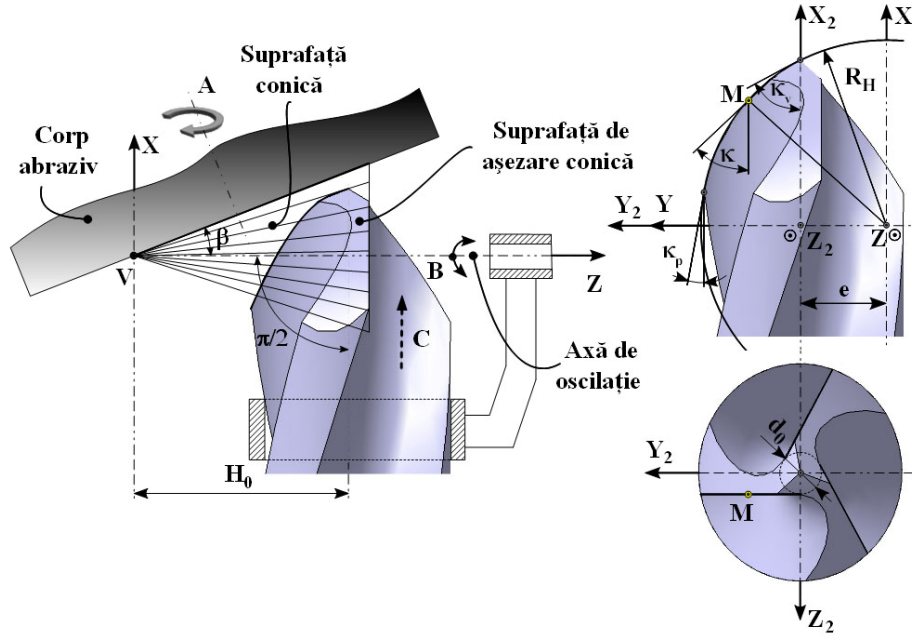


Fig. 1.16. Cinematica generării la așchieria conică [46]

- Procedul de așchiere toroidală a burghiului elicoidal cu muchie de așchiere curbă [17], [19], figura 1.17;

- Procedul de așchiere elicoidală a burghiului cu muchie de așchiere curbă [18], figura 1.18.

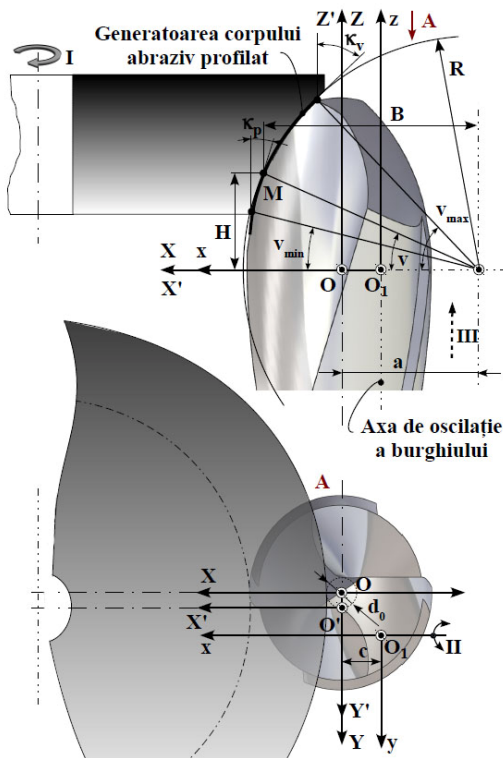


Fig. 1.51. Cinematica generării la așchieria toroidală [17]

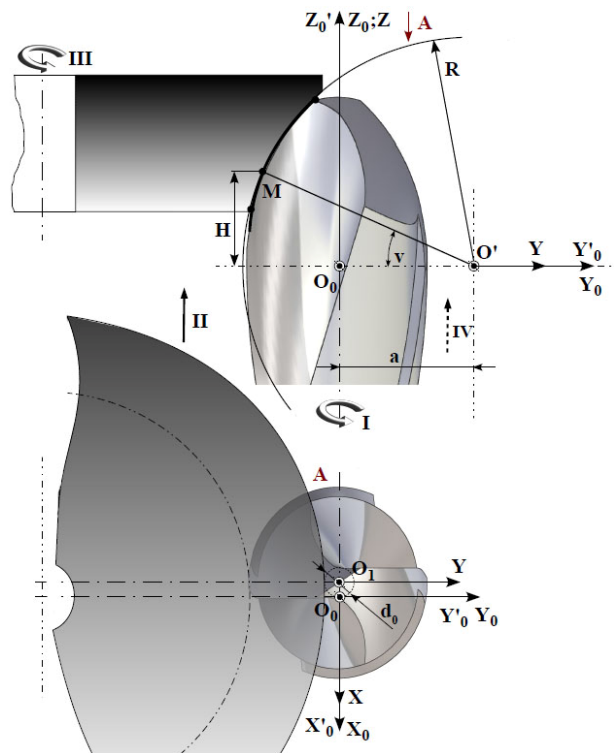


Fig. 1.52. Cinematica generării la așchieria elicoidală [18]

DIRECȚII DE CERCETARE

În cadrul tezei de doctorat, se propune sinteza unui nou tip de burghiu elicoidal, în care muchiile de aşchiere au unghiul de atac variabil, descrescător de la vârful sculei către periferie, cu scopul uniformizării încărcării energetice unitare, în vederea diminuării uzurii specifice – criteriul V_B și, totodată, dezvoltarea unui studiu experimental privind comportarea în aşchiere a noului tip de sculă, vis-a-vis de burghiile standard cu două tăişuri rectilinii. Aceasta presupune dezvoltări privind:

1. Modelarea comportării în aşchiere a muchiei de aşchiere cu unghi de atac variabil prin: realizarea unui model matematic al încărcării energetice unitare a muchiei de aşchiere curbe, utilizarea analizei cu elemente finite a transferului termic în burghiu elicoidal; cercetări experimentale prin termoviziune a aşchierii cu scula cu muchie de aşchiere curbă.

2. Dezvoltarea analitică a unui procedeu specific de ascuțire, după o suprafață hiperboloidală a suprafeței de aşezare principale a burghiului multi-tăiş curb. Studiul analitic a legii de variație a unghiului de aşezare în lungul muchiei de aşchiere; studiul detalonării suprafeței de aşezare; analiza mărimii unghiului de degajare în lungul tăişului principal.

3. Realizarea modelării 3D a burghiului elicoidal multi-tăiş curb și profilarea sculei de ordinul doi printr-o metodă analitică și o metodă grafică 3D, în mediul de proiectare grafică CATIA.

4. Obținerea geometriei spațiale a burghiului elicoidal multi-tăiş cu trei tăişuri curbe prin tehnici de inginerie inversă, prin scanare 3D cu laser și exportarea acestuia într-un format general, .STL, pentru utilizarea în procese de simulare virtuală și analiză cu elemente finite.

5. Utilizarea metodei cu elemente finite în modelarea fenomenelor specifice procesului de burghiere: modul de distribuire a energiei în lungul tăişului; analiza statică liniară privind influența unor parametri ce intervin în procesul de burghiere: studiul deformației totale; studiul momentului; studiu privind stabilitatea la echilibrul elastic (flambaj).

6. Dezvoltarea unui program de cercetare experimentală pentru analiza comportării în funcționare a noului tip de burghiu vis-a-vis de burghiile standard cu două tăişuri rectilinii privind: determinarea mărimii forței axiale și a momentului de torsiune la burghiere la prelucrarea unor oțeluri aliate; studii privind rugozitatea suprafeței generate; studiul durabilității burghiilor în procesul de aşchiere.

Capitolul 2

SINTEZA PROCEDEULUI DE ASCUȚIRE HIPERBOLOIDALĂ A BURGHIELOR MULTI-TĂIȘ CURB

2.1. Introducere

Perfecționarea constructiv-funcțională a burghiilor elicoidale monobloc din oțeluri de scule, cu scopul măririi durabilității în exploatare, poate fi obținută și prin modificarea geometriei tăişului principal – burghie elicoidale cu tăişuri în arc de cerc. Se propune realizarea unui nou tip de burghiu elicoidal multi-tăiş curb (cu trei muchii de aşchiere principale), care să îmbine avantajul muchiei de aşchiere cu unghi de atac variabil, cu o diminuare a avansului pe dinte, $s_d = s/3$ și cu o mai bună ghidare a sculei în alezajul prelucrat, vis-à-vis de burghiile cu două tăişuri.

2.2. Mărimia încărcării energetice unitare în lungul tăişului principal

Burghiile cu tăişuri curbe, cu unghi de atac variabil, descrescător de la vârful sculei, κ_v , spre periferie, κ_p , au calitatea că asigură o încărcare energetică, ce revine unității de lungime a tăişului, relativ constantă, spre deosebire de cazul cunoscut al burghiilor standard, cu tăişuri rectilinii, la care încărcarea energetică a tăişului este crescătoare de la vârf spre periferia sculei, figura 2.1a., cu repercusiunile cunoscute privind modalitatea de uzare specifică a acestor scule.

Pentru construcția de burghie cu trei tăişuri curbe, la care muchia de aşchiere este un arc de cerc, se poate exprima o dependență calitativă a încărcării energetice unitare - încărcarea energetică ce revine unei unități de lungime a tăişului, figura 2.1b.

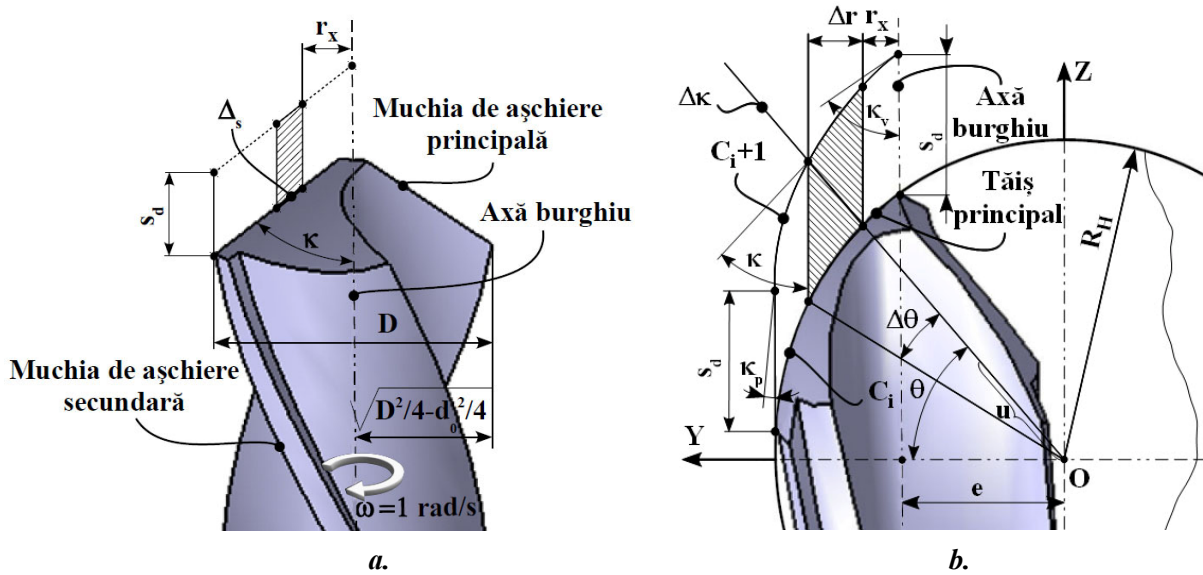


Fig. 2.1. Încărcarea energetică unitară a tăişului rectiliniu (a) și curbiliniu (b)

În figura 2.1, s-au făcut notațiile: R_H este raza arcului de cerc căruia îi aparține muchia de aşchiere; e - poziția axei burghiuului în raport cu originea cercului de rază R_H ; YZ - sistem de referință asociat burghiuului; s_d - avansul pe dinte.

Se prezintă, astfel, pentru două poziții succesive ale tăişului, parametrii geometrici ai aşchierii detaşate. Dacă se defineşte forma analitică a muchiei de aşchiere în poziția inițială:

$$C_i \left| Y^2 + Z^2 = R_H^2 \right., \quad (2.1)$$

Grosimea aşchierii în punctul curent, vezi figura 2.1, va avea expresia

$$a_k = (R_H + s_d \cdot \cos \theta) - R_H = s_d \cdot \cos \theta, \quad (2.2)$$

$$\theta \in \left[\left(\frac{\pi}{2} - \kappa_v \right); \left(\frac{\pi}{2} - \kappa_p \right) \right]$$

Forța elementară care revine unității de lungime a tăişului, în funcție de grosimea aşchierii,

$$F_{elem} = R_H \cdot \Delta \theta \cdot R_k \text{ [N]}, \quad (2.3)$$

în care R_k este rezistența unitară de aşchiere la detaşarea aşchierii, care se poate exprima ca o caracteristică de material, de exemplu, pentru oțeluri carbon, în forma [42], [59].

$$R_k = -162.3 \cdot a_k^2 + 234.4 \cdot a_k + 6.163 \text{ [N/m]}. \quad (2.4)$$

Dacă se consideră viteza în mişcarea de aşchiere în punctul de rază r de pe tăiş (mişcarea de rotație) ca fiind exprimabilă în forma $v_{as} = \omega \cdot r$ [m/s], cu ω viteza unghiulară, constantă, a burghiuului, atunci puterea consumată se poate exprima în forma

$$P = F_{elem} \cdot v_{as} = F_{elem} \cdot r \cdot \omega \text{ [W]}. \quad (2.5)$$

În acest caz, lucrul mecanic pe lungimea unitară a muchiei de aşchiere este dat de

$$q_{ak} = \frac{P}{R_H \cdot \Delta \theta} \text{ [W/m]}. \quad (2.6)$$

După înlocuiri, pentru încărcarea energetică unitară pentru tăişul curb, rezultă forma

$$q_{ak_{BTC}} = \frac{F_{elem} \cdot (R_H \cdot \cos \kappa_r - e) \cdot \omega}{R_H \cdot \Delta \theta} \quad [\text{W/m}] \quad (2.7)$$

în care este definită mărimea e ca fiind, $e = R_H \cdot \cos \kappa_v$,

Pentru un tăiş rectiliniu, încărcarea energetică unitară se exprimă prin

$$q_{ak_{BTR}} = \frac{R_k \cdot r_x \cdot \omega}{\Delta s} \quad [\text{W/m}] \quad (2.8)$$

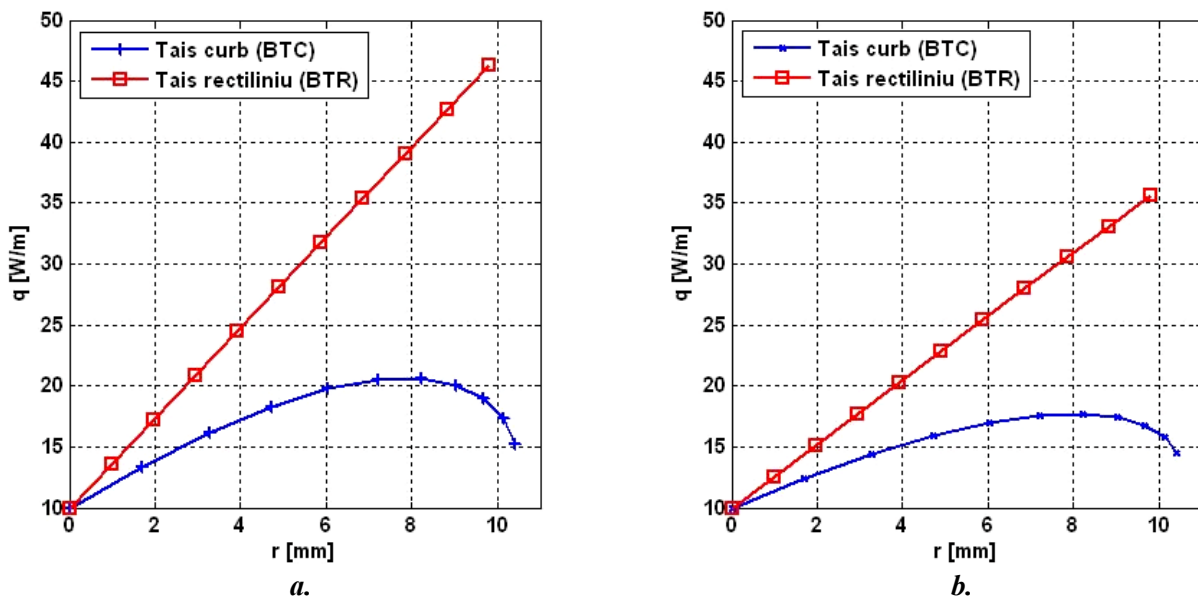
în care: R_k se calculează pentru a_k constant, deoarece unghiul κ este constant în lungul tăişului; Δ_s este lungimea elementului muchiei de aşchiere [m],

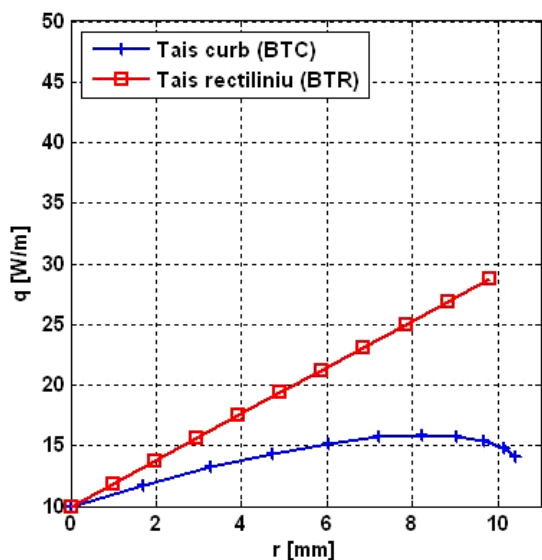
$$\Delta_s = \frac{\sqrt{\frac{D^2}{4} - \frac{d_0^2}{4}}}{N \cdot \sin \kappa}; \quad (2.9)$$

- N este numărul de incremente considerate în lungul muchiei de aşchiere;
- d_0 – diametrul miezului burghiului.

O reprezentare a mărimii energetice unitare, $q_{(ak)}$, în lungul muchiei de aşchiere, comparativ, pentru burghiul cu muchii de aşchiere rectilinii şi burghiul cu muchie de aşchiere curbă este dată în figura 2.1. Exprimarea numerică a acestor curbe a fost posibilă prin utilizarea unui program de calcul realizat în Matlab, pe baza unui algoritm specific. Pentru exemplificare, s-a considerat un burghiu elicoidal cu trei tăişuri curbe, având definiţi următorii parametri: R_H , d_0 , κ_v , κ_p , e – tabelul 2.1.

Din analiza încărcării energetice a celor două burghie, se observă că, noua formă a muchiei de aşchiere (curbă) conduce la diminuarea încărcării energetice a punctelor de pe tăişul burghiului. Astfel, la burghiile cu tăişuri curbilinii, încărcarea care revine unităţii de lungime a tăişului este mult mai mică, pentru aceleaşi condiţii de lucru, D , s , v , faţă de lucrul cu burghie cu tăişuri rectilinii. Ca urmare, procesul de uzare a tăişurilor burghiilor, dependent fiind de încărcarea energetică unitară, va fi diferit pentru cele două tipuri constructive de burghie.





c.

Fig. 2.1. Încărcarea energetică unitară în lungul muchiei de aşchiere (pentru $\omega = 1 \text{ rad/s}$), pentru un avans de 0,4 mm/rot (a), 0,25 mm/rot (b) și 0,16 mm/rot (c); r – raza punctului de pe tăiş

Tabelul 2.1. Parametrii geometrici ai burghiilor

Parametru	Relație calcul	Valoare
R_H [mm]	$R_H = \frac{\sqrt{D^2/4 - d_0^2/4}}{\cos \kappa_p - \cos \kappa_v}$	24,115
d_0 [mm]	$d_0 = 0,2 \cdot D$	4
κ_p [rad]	$\kappa_p = 12\pi/180$	0,210
κ_v [rad]	$\kappa_v = 60\pi/180$	1,047
e [mm]	$e = R_H \cdot \cos \kappa_v$	12,057

2.3. Cinematica procedului de ascuțire hiperboloidală

Se propune un procedeu de ascuțire a burghiilor elicoidale multi-tăiş curb, la care suprafața de aşezare a tăişului principal curb al burghiului aparține unei pânze de hiperboloid de rotație și față de care burghiul ascuțit este plasat excentric, axa acestuia aflându-se la distanța e față de axa pânzei hiperboloidale, figura 2.2. Muchia de aşchiere a tăişului principal, în forma unui arc de cerc, aparține suprafeței hiperboloidale de revoluție, suprafață generată de o dreaptă Δ , generatoare a hiperboloidului.

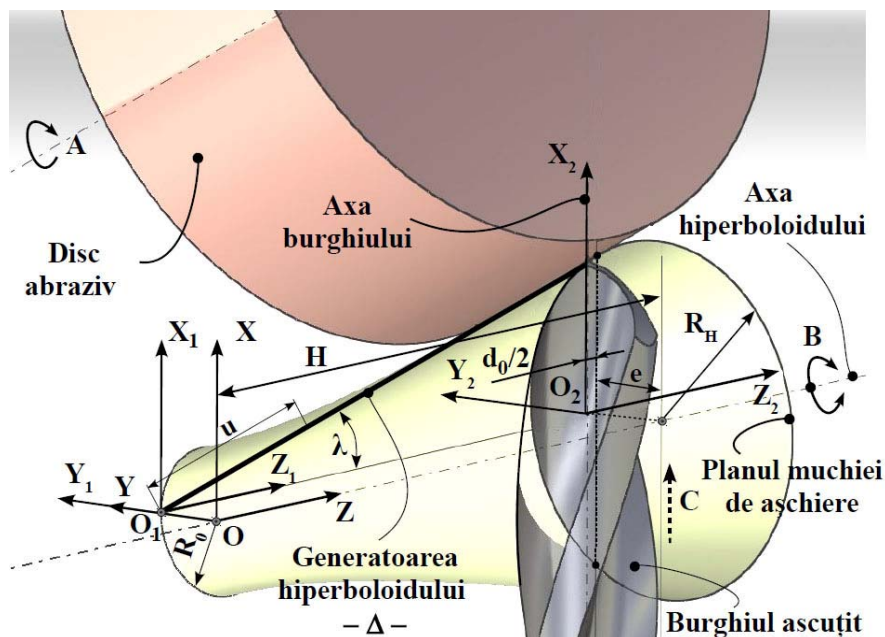


Fig. 2.2. Cinematica generării la ascuțirea hiperboloidală

Metoda de ascuțire hiperboloidală a burghiului elicoidal multi-tăiş cu muchie de aşchiere curbă, în arc de cerc, se caracterizează prin aceea că, pentru ascuțirea unei suprafețe de aşezare, se folosește o suprafață cilindrică exterioară a unui corp abraziv, în mișcare de rotație în jurul axei proprii, ascuțirea realizându-se printr-o mișcare de oscilație a burghiului în jurul unei axe fixe, disjunctă și înclinată în raport cu generatoarea suprafeței cilindrice exterioare a corpului abraziv, constituind axa unei suprafețe hiperboloidale de revoluție, realizându-se, totodată, o mișcare de avans intermitent în lungul axei burghiului, generându-se o formă circulară a muchiei de aşchiere a burghiului ascuțit.

Cinematica principală a procesului de aşchiere cuprinde trei mișcări: A este mișcarea de aşchiere – rotația discului abraziv în jurul axei proprii; B – mișcarea de oscilație a burghiului ascuțit, în raport cu generatoarea rectilinie a corpului abraziv; C – mișcarea de avans a burghiului ascuțit, în lungul axei proprii.

2.4. Modelarea analitică a suprafeţii de aşchiere hiperboloidală

2.4.1. Modelul analitic al suprafeţii de aşezare

Se definesc sistemele de referinţă, figura 2.2: XYZ este sistemul de referinţă al suprafeţii hiperboloidale de revoluţie, axa Z este axa hiperboloidului; $X_1Y_1Z_1$ – sistem solidar cu generatoarea rectilinie a pânzei hiperboloidale; $X_2Y_2Z_2$ – sistem solidar cu burghiul ascuţit (axa X_2 este suprapusă axei burghiului).

Se admite că, suprafaţa hiperboloidală de rotaţie este generată de o dreaptă, care aparţine sistemului de referinţă $X_1Y_1Z_1$, având ecuaţiile parametrice:

$$\Delta_{X_1Y_1Z_1} \begin{cases} X_1 = u \cdot \sin \lambda; \\ Y_1 = 0; \\ Z_1 = u \cdot \cos \lambda, \end{cases} \quad (2.10)$$

cu u parametru variabil şi λ - unghiul de înclinare al generatoarei faţă de axa viitorului hiperboloid. Se generează familia de drepte – suprafaţa hiperboloidală de revoluţie:

$$(\Delta)_\varphi \begin{cases} X = u \cdot \sin \lambda \cdot \cos \varphi - R_0 \cdot \sin \varphi; \\ Y = u \cdot \sin \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi; \\ Z = u \cdot \cos \lambda. \end{cases} \quad (2.11)$$

R_0 este distanţa minimă a generatoarei suprafeţii hiperboloidale faţă de axa acesteia; λ - unghiul dintre dreapta generatoare Δ şi axa suprafeţii hiperboloidale; φ - variabilă unghiulară, la rotaţia în jurul axei Z .

2.4.2. Caracteristicile şi forma muchiei de aşchiere

Ca o primă soluţie, se acceptă ca formă a muchiei de aşchiere o formă circulară, figura 2.3. Această formă rezultă din intersecţia suprafeţii hiperboloidale de rotaţie (2.11) cu un plan perpendicular pe axa de rotaţie a acesteia. Astfel, muchia de aşchiere poate fi un arc aparţinând cercului de rază R_H , raza cercului reprezentând secţiunea transversală a suprafeţii hiperboloidale. Pentru secţiuni plane, $Z = H$, cu H variabilă, se determină forma muchiei de aşchiere C_H , ca intersecţie a planului ($Z = H$) cu suprafaţa hiperboloidală:

$$C_H \begin{cases} X = H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \cos \varphi - R_0 \cdot \sin \varphi; \\ Y = H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi; \\ Z = H_0 + \frac{d_0}{2}. \end{cases} \quad (2.12)$$

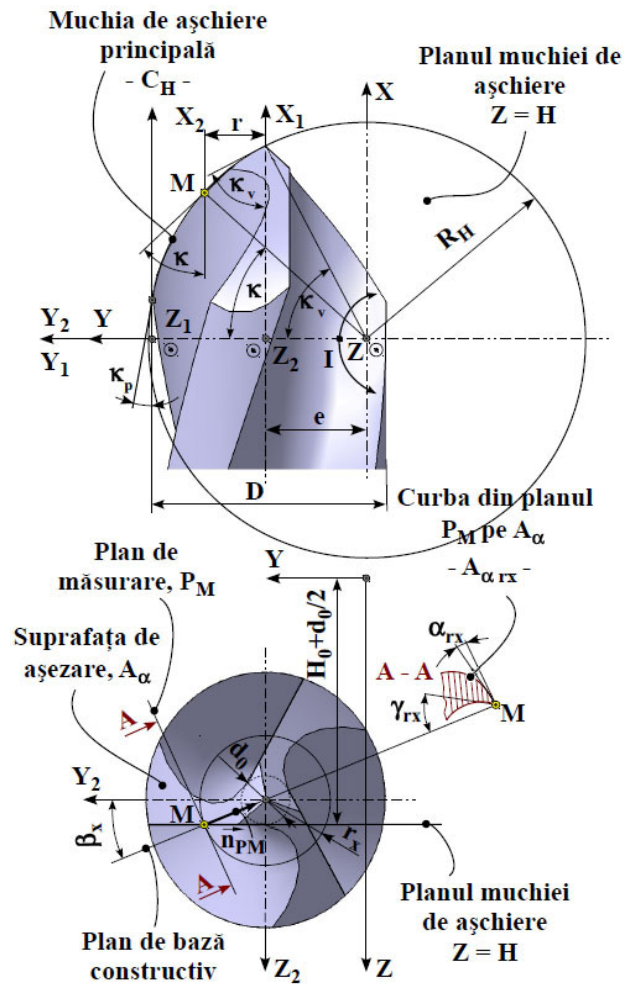


Fig. 2.3. Sistemul de referinţă al muchiei de aşchiere

- H este distanţa măsurată în lungul axei hiperboloidului căruia îi aparţine suprafaţa de aşezare, de la secţiunea transversală minimă a hiperboloidului la planul muchiei de aşchiere; H_0 – distanţa între secţiunea transversală minimă a hiperboloidului şi axa burghiului ascuţit; d_0 – diametrul miezului burghiului.

În sistemul $X_2Y_2Z_2$, ecuaţiile muchiei de aşchiere devin:

$$C_{H_{X_2Y_2Z_2}} \begin{cases} X_2 = H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \cos \varphi - R_0 \cdot \sin \varphi; \\ Y_2 = H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e; \\ Z_2 = \frac{d_0}{2}. \end{cases} \quad (2.13)$$

Ecuatiile (2.13) reprezintă un cerc de rază R_H cu centrul în: $Y_2 = e$; $Z_2 = d_0/2$.

2.5. Suprafaţa şi unghiul de aşezare

2.5.1. Legea de variaţie a mărimii unghiului de aşezare în lungul muchiei de aşchiere principale

Se defineşte unghiul de aşezare α_{r_x} într-un plan paralel cu axa burghiului, în planul de măsurare - plan perpendicular pe planul de bază constructiv, în punctul considerat pe muchia de aşchiere, vezi figura 2.3. Planul de bază, într-un punct al muchiei de aşchiere, este planul ce conţine punctul considerat şi este perpendicular pe direcţia mişcării de aşchiere. Ecuaţia planului P_M - plan paralel cu axa burghiului, X_2 , care conţine punctul considerat, M , aflat la distanţa r_x de axa burghiului, este

$$P_M : \left[Y_2 - \sqrt{r_x^2 - \frac{d_0^2}{4}} \right] \cdot \cos \beta_x + \left[Z_2 - \frac{d_0}{2} \right] \cdot \sin \beta_x = 0, \quad (2.14)$$

Se defineşte curba de intersecţie a suprafeţei de aşezare a tăişului principal (suprafaţa hiperboloidală), vezi ecuaţiile (2.11), cu planul de măsurare (2.14). Se raportează suprafaţa hiperboloidală (2.11) la sistemul $X_2Y_2Z_2$ şi rezultă ecuaţiile suprafeţei hiperboloidale - constituind suprafaţa de aşezare a tăişului principal curbiliniu al burghiului, în sistemul $X_2Y_2Z_2$:

$$A_\alpha \begin{cases} X_2 = u \cdot \sin \lambda \cdot \cos \varphi - R_0 \cdot \sin \varphi; \\ Y_2 = u \cdot \sin \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e; \\ Z_2 = u \cdot \cos \lambda - H_0, \end{cases} \quad (2.15)$$

cu u şi φ - parametrii variabili independenţi. Mărimile R_0 , e , λ , d_0 sunt definite ca mărimi constructive (constante tehnologice). Ansamblul ecuaţiilor suprafeţelor - planul de măsurare (2.14) şi suprafaţa hiperboloidală (2.15), conduce la condiţia:

$$\left[u \cdot \sin \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e - \sqrt{r_x^2 - \frac{d_0^2}{4}} \right] \cdot \cos \beta_x + \left[u \cdot \cos \lambda - H_0 - \frac{d_0}{2} \right] \cdot \sin \beta_x = 0. \quad (2.16)$$

Ansamblul de ecuaţii format din suprafaţa de aşezare (2.15) şi condiţia (2.16) reprezintă, pe suprafaţa A_α , curba de intersecţie cu planul de măsurare, vezi şi figura 2.3. Aceasta este o curba ce defineşte suprafaţa de aşezare a burghiului elicoidal - A_{α, r_x} . Unghiul format între tangenta la această curbă şi direcţia mişcării de aşchiere, care este conţinută într-un plan perpendicular pe axa burghiului, trecând prin punctul considerat pe tăiş, este unghiul de aşezare, α_{r_x} .

$$A_{\alpha, r_x} \begin{cases} - \text{Suprafaţa de aşezare} \\ A_\alpha \begin{cases} X_2 = u \cdot \sin \lambda \cdot \cos \varphi - R_0 \cdot \sin \varphi; \\ Y_2 = u \cdot \sin \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e \\ Z_2 = u \cdot \cos \lambda - H_0, \end{cases} \quad (2.15) \\ - \text{Condiţia (2.16), sau, principial } u = u(\varphi). \end{cases} \quad (2.17)$$

Pentru exemplificare, se consideră un burghiu elicoidal multi-tăiş, având definiţi următorii parametri: R_H , d_0 , e , λ , R_0 , H_0 – tabelul 2.2, vezi relaţiile (2.23) şi (2.24). Valorile unghiului de aşezare în lungul muchiei de aşchiere sunt prezentate în figura 2.4, pentru mărimi ale parametrilor modelului de ascuţire hiperboloidal de tipul: $D_0 = 20 \text{ mm}$ $\kappa_p = 5^\circ$; $\kappa_v = 60^\circ$, iar pe baza acestora, se obţine legea de variaţie a mărimii unghiului de aşezare principal, figura 2.5.

Tabelul 2.3. Parametrii geometrici ai burghiului

Parametru	Relaţie calcul	Valoare
R_H [mm]	$R_H = \frac{\sqrt{D^2/4 - d_0^2/4}}{\cos \kappa_p - \cos \kappa_v}$	19,692
d_0 [mm]	$d_0 = 0,12 \cdot D$	2,4
κ_p [rad]	$\kappa_p = 5\pi/180$	0,087
κ_v [rad]	$\kappa_v = 60\pi/180$	1,047
e [mm]	$e = R_H \cdot \cos \kappa_v$	9,945
λ [rad]	$\lambda = 6\pi/180$	0,104
R_0 [mm]	$R_0 = e$	9,945
H_0 [mm]	$H_0 = R_H \cdot \sin \kappa_v / \tan \lambda$	163,890

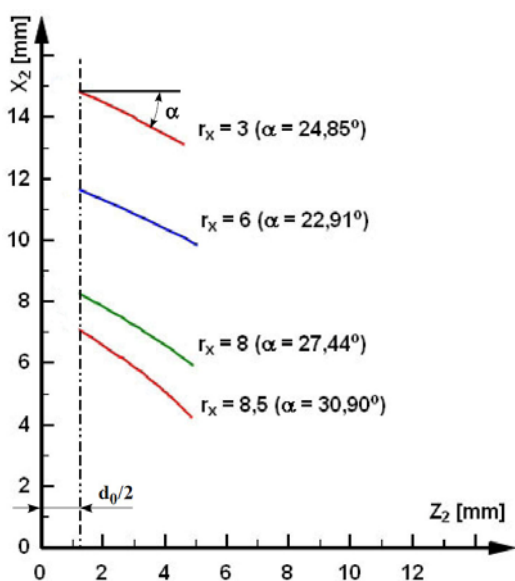


Fig. 2.4. Curbele de intersecţie dintre suprafaţa de aşezare şi planul de măsurare, pentru $\lambda = 6^\circ$

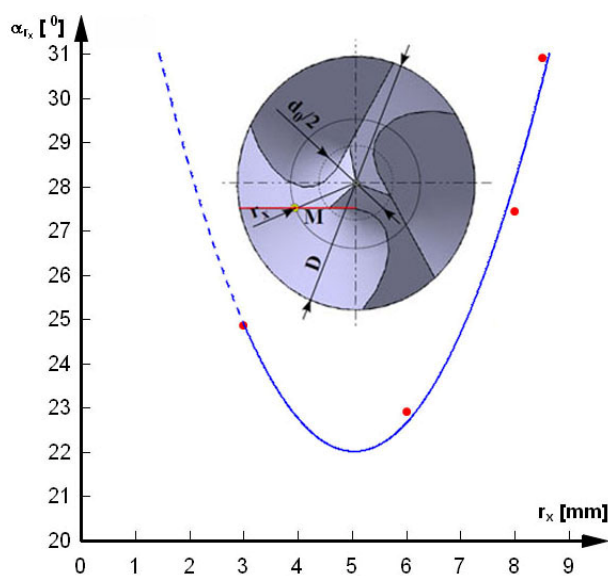


Fig. 2.5. Legea de variaţie a unghiului de aşezare în funcţie de raza punctului considerat pe tăiş

2.5.2. Detalonarea suprafeţii de aşezare

Se defineşte mărimea detalonării suprafeţii de aşezare a tăişului principal, δ_{rx} în plane perpendiculare pe axa burghiului, figura 2.6. Pentru un punct al muchiei de aşchiere, detalonarea suprafeţii de aşezare se defineşte, în planul perpendicular pe axa burghiului, ca fiind diferenţa între mărimea razei punctului considerat şi raza polară, ρ , care descrie curba de intersecţie a suprafeţii de aşezare cu planul considerat.

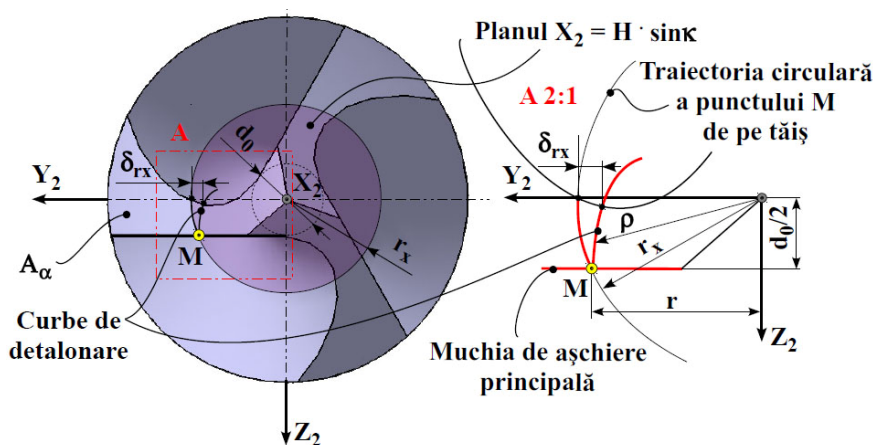


Fig. 2.6. Mărimea detalonării feţei de aşezare a burghiului cu trei tăişuri curbe

Planul perpendicular pe axa burghiului, vezi şi figura 2.3, este:

$$X_2 = R_H \cdot \sin \kappa, \quad (2.18)$$

cu κ - unghiul de atac curent pe tăiş şi R_H raza cercului căruia îi aparţine muchia de aşchiere. Pentru punctul $M_{Y_2Z_2}$, din planul Y_2Z_2 , condiţia de asigurare a detalonării este

$$\rho < r_x, \quad (2.19)$$

$$r_x = \sqrt{r^2 + d_0^2/4} \text{ este raza punctului curent pe muchia de aşchiere;} \quad (2.20)$$

ρ - raza polară a curbei de detalonare, în planul de măsurare, figura 2.6, corelat cu (2.22), rezultă în forma

$$\rho = \sqrt{Y_2^2 + Z_2^2}, \quad (2.21)$$

$$Y_2 = \frac{R_H \cdot \sin \kappa + R_0 \cdot \sin \varphi}{\sin \lambda \cdot \cos \varphi} \cdot \sin \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e; \quad (2.22)$$

$$Z_2 = \frac{R_H \cdot \sin \kappa + R_0 \cdot \sin \varphi}{\sin \lambda \cdot \cos \varphi} \cdot \cos \lambda - H_0.$$

Din condiţia asigurării unei anumite legi de variaţie a mărimii unghiului de atac în lungul tăişului principal al burghiului, se determină mărimea parametrilor R_H şi e :

$$R_H = \frac{\sqrt{D^2/4 - d_0^2/4}}{\cos \kappa_p - \cos \kappa_v}; \quad (2.23)$$

$$e = \frac{\sqrt{D^2/4 - d_0^2/4}}{\cos \kappa_p - \cos \kappa_v} \cdot \cos \kappa_v, \quad (2.24)$$

în care: κ_p este mărimea unghiului de atac la periferia burghiului; κ_v - mărimea unghiului de atac la vârful burghiului; D - diametrul burghiului ascuţit; d_0 - diametrul miezului burghiului, $d_0 = 0,2 \cdot D$. În figurile 2.7 şi 2.8, sunt prezentate liniile de detalonare pe suprafaţa de aşezare a dintelui ascuţit, pentru diferite mărimi ale razei punctului considerat pe muchia de aşchiere.

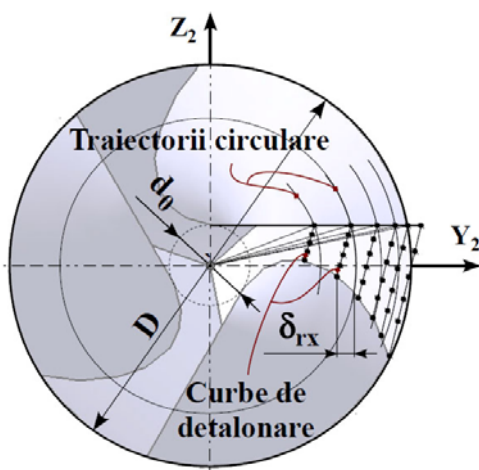


Fig. 2.7. Liniile de detalonare pe suprafaţa de aşezare

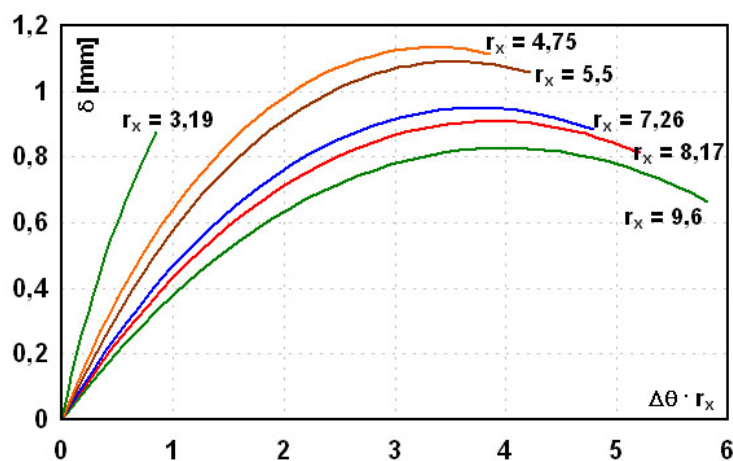


Fig. 2.8. Dependenţa $\Delta\theta \cdot r_x - \delta$ pentru curbele de detalonare

Aşadar, condiţia de detalonare este de forma:

$$\sqrt{Y_2^2 + Z_2^2} < \sqrt{r^2 + d_0^2 / 4}, \quad (2.25)$$

$$r = R_H (\cos \kappa_v - \cos \kappa), \text{ vezi şi figura 2.3.} \quad (2.26)$$

2.6. Suprafaţa şi unghiul de degajare

Burghiile standard, la care suprafaţa de degajare este elicoidală, au parametrii geometrici constructivi: α_n - unghiul de aşezare în planul normal; γ_n - unghiul de degajare în planul normal; α_p - unghiul de aşezare în planul posterior; γ_p - unghiul de degajare în planul posterior.

2.6.1. Geometria canalului elicoidal al burghiului cu tăişuri curbilinii

Forma muchiei de aşchiere a unui burghiu cu tăişuri curbilinii este rezultatul intersecţiei între suprafaţa de degajare elicoidală (elicoid cilindric de pas constant) cu suprafaţa de aşezare.

Muchia de aşchiere principală, reprezentată de o curbă aparţinând suprafeţii de aşezare, este, în cazul de faţă, o curbă a hiperboloidului de revoluţie, care constituie suprafaţa de aşezare principală, figura 2.9.

Ecuatiile parametrice ale canalului burghiului (zona suprafeţii de degajare) sunt de forma:

$$A_\gamma \begin{cases} X_2 = H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \cos \varphi - R_0 \cdot \sin \varphi + p \cdot \theta; \\ Y_2 = [H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e] \cdot \cos \theta - d_0 / 2 \cdot \sin \theta; \\ Z_2 = [H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e] \cdot \sin \theta + d_0 / 2 \cdot \cos \theta. \end{cases} \quad (2.27)$$

- θ este parametru unghiular variabil, în mişcarea de rotaţie în jurul axei X_2 ; p - parametrul elicoidal al suprafeţii elicoidale a canalului burghiului, $p = P_E / 2\pi$, cu P_E - pasul elicoidal al canalului.

Unghiul de degajare

Se de fineşte mărimea unghiului de degajare, într-un punct al tăişului, ca fiind determinat între planul tangent la suprafaţa de degajare (2.27) şi planul de bază constructiv, într-un plan de măsurare caracteristic. În funcţie de poziţia planului în care se face măsurarea unghiului de degajare, se definesc: *unghiul de degajare posterior* - între planul de bază şi planul tangent la suprafaţa de degajare, măsurat într-un plan ce conţine punctul considerat pe muchia de aşchiere şi este paralel cu axa burghiului; *unghiul de degajare normal* - unghiul măsurat între planul tangent la suprafaţa de degajare şi planul de bază, într-un plan normal pe muchia de aşchiere; *unghiul de degajare lateral* se defineşte în planul de lucru aferent punctului considerat pe muchia de aşchiere, între planul de bază şi planul tangent la suprafaţa de degajare.

2.6.2. Unghiul de degajare posterior

Se defineşte planul de măsurare, plan ce conţine punctul considerat pe tăiş şi este paralel cu axa burghiului, figura 2.10, planul $P-P$, de ecuaţie:

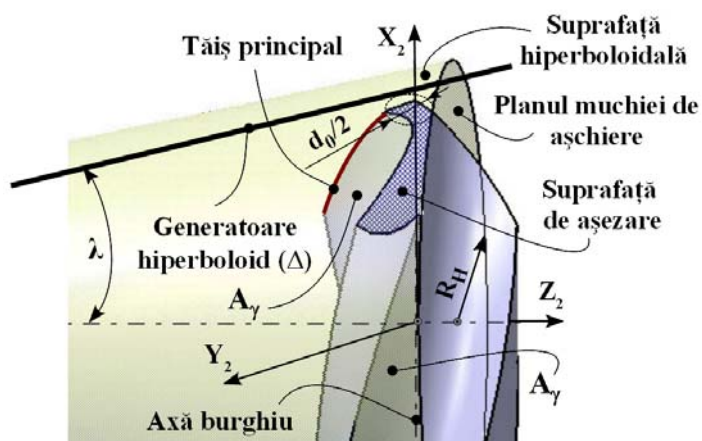


Fig. 2.9. Muchia de aşchiere principală – curbă pe suprafaţa hiperboloidului de rotaţie

$$Y_2 = \sqrt{r_x^2 - d_0^2 / 4}. \quad (2.28)$$

Din ecuaţia suprafeţii de degajare A_γ (2.27) se defineşte condiţia de intersecţie cu planul posterior:

$$\begin{aligned} [H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e] \cdot \cos \theta - \\ - \frac{d_0}{2} \cdot \sin \theta = \sqrt{r_x^2 - d_0^2 / 4}. \end{aligned} \quad (2.29)$$

Planul de bază constructiv este definit în punctul curent al tăşului ca un plan ce conţine axa burghiului şi punctul aparţinând muchiei de aşchiere,

$$\begin{aligned} \left(Y_2 - \sqrt{r_x^2 - d_0^2 / 4} \right) \cdot (\cos \beta_x) + \\ + (Z_2 - d_0 / 2) \cdot \sin \beta_x = 0. \end{aligned} \quad (2.30)$$

$$\beta_x = \arcsin \frac{d_0}{2 \cdot r_x}. \quad (2.31)$$

2.6.3. Unghiul de degajare normal

Unghiul de degajare normal se defineşte ca unghiul măsurat între planul tangent la suprafaţa de degajare şi planul de bază, într-un plan normal pe muchia de aşchiere, figura 2.11. Planul de măsurare al unghiului de degajare normal este un plan perpendicular pe muchia de aşchiere circulară. Se defineşte ecuaţia planului normal la muchia de aşchiere,

$$\begin{aligned} [X_2 - R_H \cdot \sin \kappa] \cdot \cos \kappa - \\ - [Y_2 - R_H \cdot \cos \kappa] \cdot \sin \kappa = 0. \end{aligned} \quad (2.32)$$

Condiţia ce determină curba de intersecţie a planului normal muchiei de aşchiere cu suprafaţa de degajare:

$$\begin{aligned} [H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \cos \varphi - R_0 \cdot \sin \varphi + p \cdot \theta - R_H \cdot \sin \kappa] \cdot \cos \kappa - \\ - \left\{ \begin{aligned} [H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e] \cdot \cos \theta - \\ - d_0 / 2 \cdot \sin \theta - R_H \cdot \cos \kappa \end{aligned} \right\} \cdot \sin \kappa = 0. \end{aligned} \quad (2.33)$$

Planul de bază constructiv este definit în punctul curent al muchiei de aşchiere ca un plan ce conţine axa burghiului şi punctul aparţinând muchiei de aşchiere:

$$\begin{aligned} \left(Y_2 - \sqrt{r_x^2 - d_0^2 / 4} \right) \cdot (\cos \beta_x) + \\ + (Z_2 - d_0 / 2) \cdot \sin \beta_x = 0. \end{aligned} \quad (2.34)$$

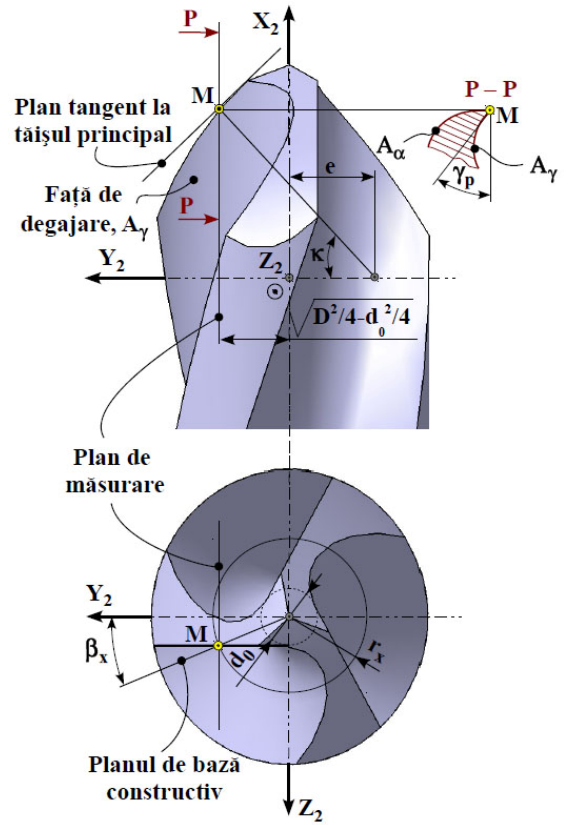


Fig. 2.10. Definierea unghiului de degajare posterior

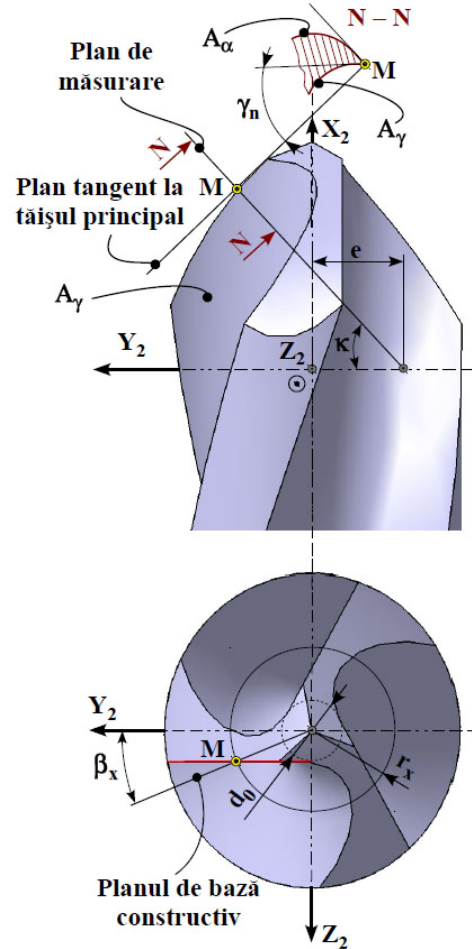


Fig. 2.11. Definierea unghiului de degajare normal

2.6.4. Unghiul de degajare lateral

Este unghiul de degajare măsurat în planul de lucru al punctului considerat pe muchia de aşchiere. Planul de lucru definit ca un plan ce conţine punctul considerat pe muchia de aşchiere, este perpendicular pe planul de bază constructiv, figura 2.12. Planul de lucru are ecuaţia:

$$Y_{2r_x} = r_x. \quad (2.35)$$

Unghiul de degajare lateral (γ_l) se defineşte, astfel, între curba de intersecţie a canalului elicoidal în noul sistem de referinţă (2.36), cu planul de lucru (2.35) şi planul de bază constructiv (2.34). Curba de intersecţie a canalului elicoidal este:

$$\begin{aligned} X_{2r_x} &= H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \cos \varphi - R_0 \cdot \sin \varphi + p \cdot \theta; \\ Y_{2r_x} &= \left[(H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e) \cdot \cos \theta - d_0 / 2 \cdot \sin \theta \right] \cdot (\sqrt{r_x^2 - d_0^2 / 4}) / r_x + \\ &+ \left[(H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e) \cdot \sin \theta + d_0 / 2 \cdot \cos \theta \right] \cdot (d_0 / 2) / r_x; \\ Z_{2r_x} &= \left[(H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e) \cdot \cos \theta - d_0 / 2 \cdot \sin \theta \right] \cdot (d_0 / 2) / r_x + \\ &+ \left[(H \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e) \cdot \sin \theta + d_0 / 2 \cdot \cos \theta \right] \cdot (\sqrt{r_x^2 - d_0^2 / 4}) / r_x. \end{aligned} \quad (2.36)$$

2.6.5. Aplicaţii numerice

Pentru determinarea mărimii unghiurilor de degajare posterior, lateral şi normal se propune o soluţie de rezolvare numerică utilizând Matlab.

Se consideră pentru exemplificare, cazul unui burghiu elicoidal multi-tăiş curb cu $D = 20$ mm; $\kappa_p = 5^\circ$; $\kappa_v = 60^\circ$; $R_0 = 10$ mm; $H_0 = 100$ mm; $d_0 = 4$ mm.

2.6.5.1. Unghiul de degajare posterior

Pe baza valorilor ce definesc mărimile unghiului de degajare posterior, se prezintă variaţia unghiului de degajare posterior, γ_p , în funcţie de raza r_x , figura 2.13.

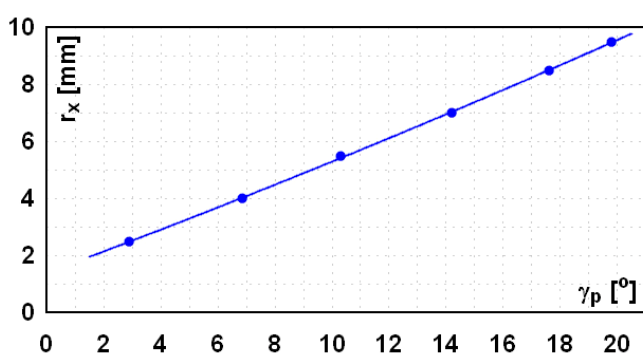


Fig. 2.13. Variația unghiului de degajare posterior, γ_p , în funcție de raza r_x

2.6.5.2. Unghiul de degajare lateral

Pe baza valorilor ce definesc mărimile unghiului de degajare lateral, se prezintă curbele ce definesc unghiul de degajare lateral, figura 2.14.

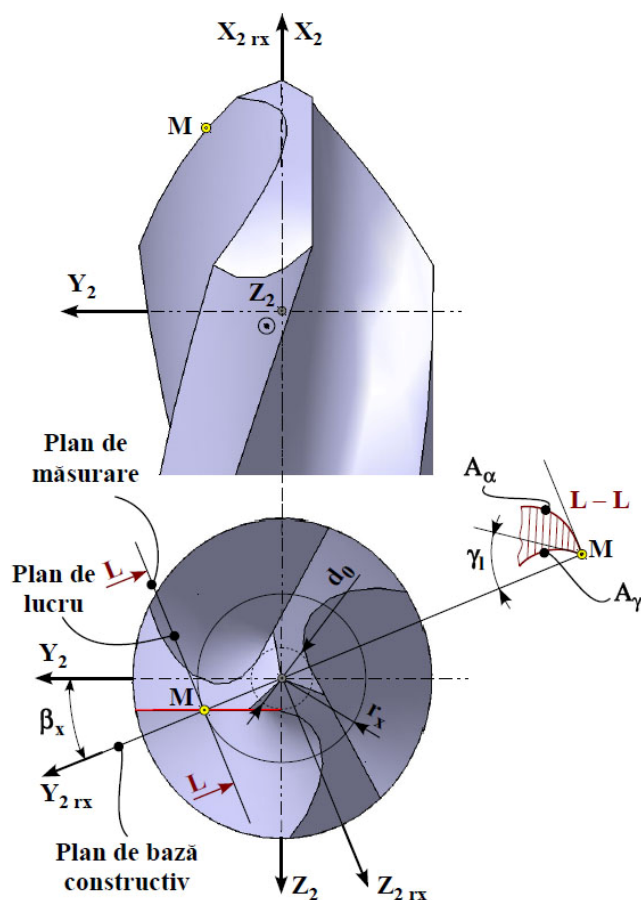


Fig. 2.12. Definierea unghiului de degajare lateral

2.6.5.3. Unghiul de degajare normal

S-a realizat un program de calcul în Matlab pentru definirea numerică a curbelor de intersecţie dintre planul tangent la suprafaţa de degajare şi planul de bază, într-un plan normal pe muchia de aşchiere.

2.7. Model analitic generalizat al suprafeţii de aşezare

Procedeul de ascuţire hiperboloidal al burghiilor cu trei tăişuri curbe, în arc de cerc, poate fi privit într-un sens mai general, referitor la procedeele la care suprafeţele de aşezare ale tăişurilor principale sunt quadrice de tipul: pânză cilindrică, pânză conică, pânză hiperboloidală.

Astfel, acceptând ecuaţiile pânzei hiperboloidale (vezi relaţiile (2.15)), în forma:

$$A_{\alpha} \begin{cases} X = u \cdot \sin \lambda \cdot \cos \varphi - R_0 \cdot \sin \varphi; \\ Y = u \cdot \sin \lambda \cdot \sin \varphi + R_0 \cdot \cos \varphi - e; \\ Z = u \cdot \cos \lambda - H_0, \end{cases} \quad (2.37)$$

cu u şi φ – parametri variabili independenţi şi R_0 , H_0 şi λ – constante constructive, se pot imagina cazurile particulare, referitoare la ascuţirea cilindrică şi conică [46], [61].

2.7.1. Model analitic al legii de variaţie a unghiului de aşezare la procedeul de ascuţire cilindric

Pentru $\lambda = 0$, $R_0 = R_H$, cu H_0 - arbitrar ($H_0 = 0$), se definesc ecuaţiile pânzei cilindrice de axă Z :

$$A_{\alpha} \text{ cil} \begin{cases} X = -R_H \cdot \sin \varphi; \\ Y = R_H \cdot \cos \varphi - e; \\ Z = u + d_0 / 2, \end{cases} \quad (2.38)$$

Condiţia pentru modelul cilindric de ascuţire, este de forma:

$$\left(R_0 \cdot \cos \varphi - e - \sqrt{r_x^2 - d_0^2 / 4} \right) \cdot \cos \beta_x + u \cdot \sin \beta_x = 0. \quad (2.39)$$

2.7.2. Model analitic al legii de variaţie a unghiului de aşezare la procedeul de ascuţire conic

Pentru $R_0 = 0$, cu λ - semiunghiul la vârful pânzei conice şi H_0 - distanţa de la vârful conului la axa burghiului ascuţit, ecuaţiile (2.37) se reduc la:

$$A_{\alpha} \text{ con} \begin{cases} X = u \cdot \sin \lambda \cdot \cos \varphi; \\ Y = u \cdot \sin \lambda \cdot \sin \varphi; \\ Z = u \cdot \cos \lambda - H_0. \end{cases} \quad (2.40)$$

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{R_H}{H}; \quad H = H_0 + \frac{d_0}{2} \quad (2.41)$$

Mărimile H şi H_0 au, în acest caz, semnificaţiile: H este distanţa de la vârful pânzei conice la planul muchiei de aşchiere curbe – cercul de rază R_H ; H_0 - distanţa de la vârful pânzei conice la axa burghiului ascuţit.

Condiţia (2.16) pentru modelul conic este de forma:

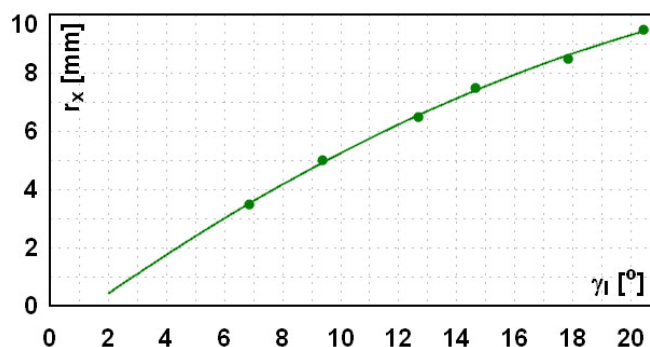


Fig. 2.14. Variația unghiului de degajare lateral, γ_1 , în funcție de raza r_x

$$\left(u \cdot \sin \lambda \cdot \sin \varphi - e - \sqrt{r_x^2 - d_0^2 / 4} \right) \cdot \cos \beta_x + u \cdot \cos \lambda \cdot \sin \beta_x = 0. \quad (2.42)$$

2.8. Metodă grafică pentru studiul procedeelor de aşchiere cilindric şi conic

Metoda presupune realizarea modelului solid al burghiului multi-tăiş curb, modelele solide ale pânzei cilindrice şi conice, care constituie suprafaţa de aşezare principală a tăişurilor, precum şi modelul solid al corpului abraziv, toate în poziţia relativă a procesului de generare a feţei de aşezare, fig. 2.15a şi b.

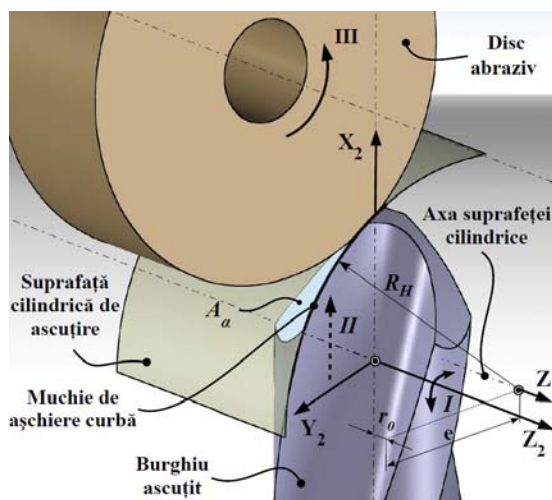


Fig. 2.15a. Schema de aşchiere a burghiului cu tăiş curb – metoda cilindrică

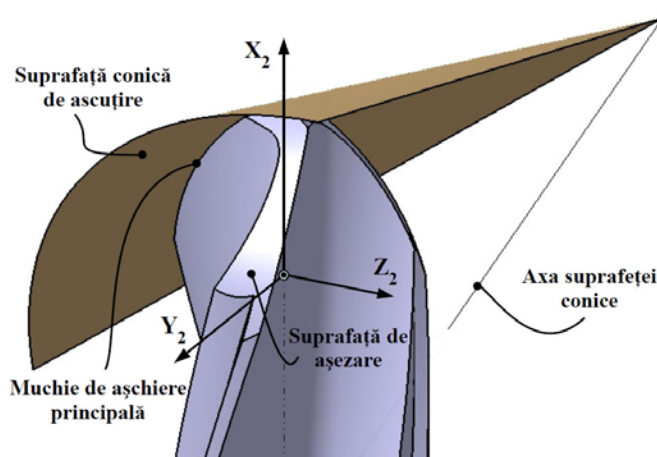


Fig. 2.15b. Schema de aşchiere a burghiului cu tăiş curb – metoda conică

Cinematica procesului de aşchiere presupune următoarele mişcări: I este mişcarea de oscilaţie a burghiului ascuţit în jurul axei pânzei cilindrice; II - mişcarea de avans intermitent în lungul axei burghiului; III – mişcarea de aşchiere a corpului abraziv.

Mărimea detalonării suprafeţei de aşezare a tăişului principal al burghiului se defineşte ca distanţa măsurată în lungul axei burghiului (în figura 2.16a, axa X_2) între curbele de intersecţie ale suprafeţei de aşezare (pânza cilindrică de rază R_H) cu cilindri de revoluţie, de raze r_x ($d_0/2 \leq r_x \leq D/2$), coaxiali cu burghiul, şi traiectoriile punctelor de muchia de aşchiere a burghiului în mişcarea de rotaţie în jurul axei proprii, figura 2.16.

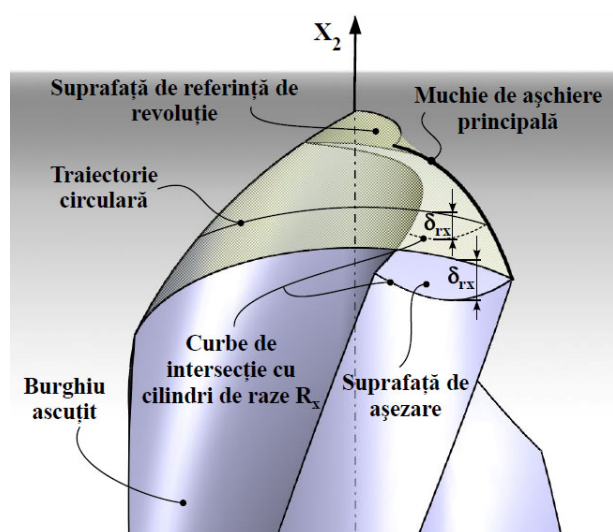


Fig. 2.16a. Definierea detalonării suprafeţei de aşezare – metoda cilindrică

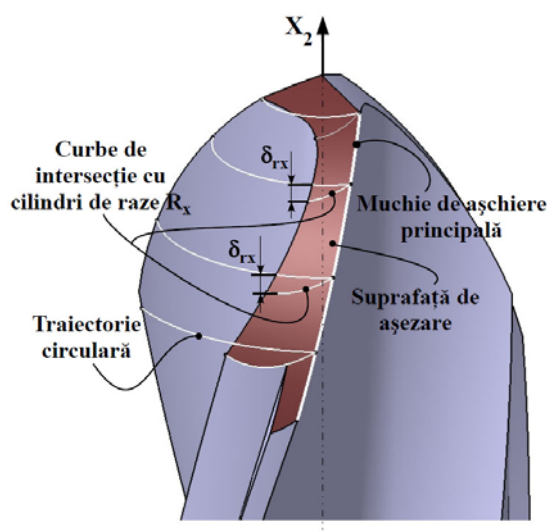


Fig. 2.16b. Definierea detalonării suprafeţei de aşezare – metoda conică

Mărimile unghiului de aşezare se măsoară între tangentele la curbele de intersecţie ale suprafeţei de aşezare cu cilindrii coaxiali cu axa burghiului, cu planurile trecând prin punctele considerate pe muchia de aşchiere, figura 2.17a şi 2.17b, perpendiculare pe axa burghiului.

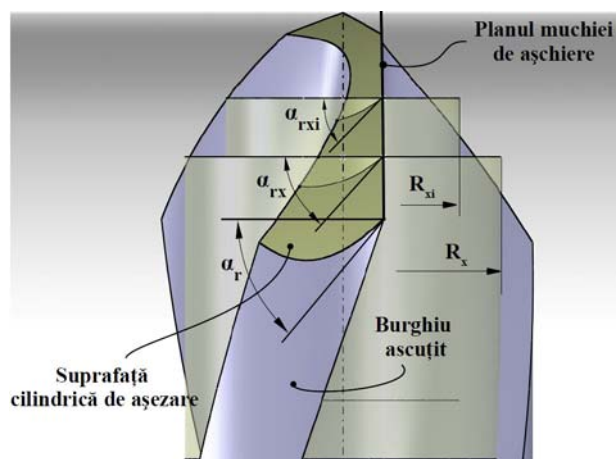


Fig. 2.17a. Definierea mărimii unghiului de aşezare în lungul muchiei de aşchiere – metoda cilindrică

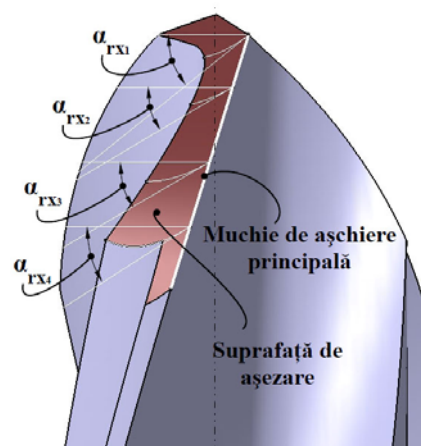


Fig. 2.17b. Definierea mărimii unghiului de aşezare în lungul muchiei de aşchiere – metoda conică

2.9. Echipament pentru ascuţirea după o suprafaţă hiperboloidală [99]

În baza cinematicii de generare a suprafeţei hiperboloidale, care constituie suprafaţa de aşezare principală a burghiului multi-tăiş curb, s-a imaginat un dispozitiv, care permite materializarea schemei de ascuţire propuse.

Dispozitivul aferent metodei de ascuţire hiperboloidale a burghiilor elicoidale cu 3 tăişuri, cu muchie de aşchiere în arc de cerc, figura 2.18 se compune din: - corp abraziv (1); axa de oscilaţie a burghiului (2), riglă (3), lagăr (4), clemă (5), batiu (6), sanie (7) mecanism şurub piuliţă (8), sistem indexor (9).

În figura 2.19, se prezintă o imagine foto a dispozitivului de ascuţire, realizat conform brevetului [99], existent în Hala de Maşini Unelte a Departamentului Ingineria Fabricaţiei din cadrul Universităţii „Dunărea de Jos” din Galaţi.

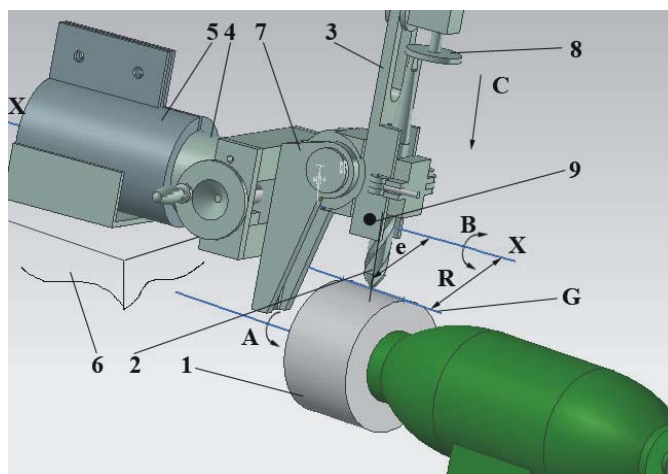


Fig. 2.18. Dispozitiv pentru ascuţire hiperboloidală - vedere 3D

2.10. Concluzii

- S-a imaginat un model analitic care pune în evidenţă faptul că, la burghiile cu muchie de aşchiere principală în formă de arc de cerc, cu unghi de atac variabil, încărcarea energetică ce revine unităţii de lungime a tăişului este mai redusă decât la burghiile cu tăişuri rectilinii.

- S-a propus o nouă construcţie a burghiului elicoidal – burghiu cu trei tăişuri curbe, la care se reduce încărcarea energetică în lungul tăişului în raport cu burghiu standard, cu repercusiuni directe asupra durabilităţii sculei.



Fig. 2.23. Dispozitiv pentru ascuţire hiperboloidală

- S-a sintetizat o formă de ascuțire a burghiului cu tăiș curb, în arc de cerc, după o suprafață hiperboloidală de revoluție și s-a realizat un model matematic al noii geometrii a suprafeței de așezare a burghiului și a muchiei principale de așchiere.
- S-a verificat analitic legea de variație a mărimii unghiului de așezare constructiv, în lungul muchiei de așchiere, dovedindu-se că acesta are valori acceptabile în toate punctele tăișului.
- Procedul de ascuțire după o suprafață hiperboloidală asigură detalonarea întregii suprafețe de așezare a tăișului principal, la o singură poziționare a burghiului în raport cu suprafața de ascuțire;
- S-a prezentat un model analitic al suprafeței de degajare a tăișului principal, determinând, prin modele analitice, legea de variație a mărimii unghiului de degajare în lungul tăișului principal.
- S-a propus o formă de generalizare a modelelor analitice de ascuțire a suprafeței de așezare principale după suprafețe de ascuțire cilindrică și conică, prin modelare 3D în CATIA;
- A fost sintetizat un procedeu și un dispozitiv specific metodei de ascuțire hiperboloidale, brevetat.

Capitolul 3

PROFILAREA SCULEI DE ORDINUL DOI PENTRU GENERAREA CANALULUI ELICOIDAL

3.1. Introducere

Suprafața canalului elicoidal al burghiului multi-tăiș curb este o suprafață elicoidală compusă, de tip cilindric și de pas constant, alcătuită dintr-o zonă care reprezintă suprafața de degajare a tăișului principal al burghiului multi-tăiș curb și o zonă care constituie canalul de evacuare a așchii. Cele două suprafețe sunt conjugate și admit o curbă de tangență comună.

Ca urmare, profilarea sculei disc, ca reciproc înfășurătoare a suprafeței elicoidale a canalului burghiului, trebuie făcută în baza teoremelor fundamentale ale suprafețelor reciproc înfășurătoare: Oliviér, Gohman, sau Nikolaev [38], [45], [60]. Rezultatul aplicării uneia dintre aceste teoreme se constituie într-un algoritm, în baza căruia se poate defini forma secțiunii axiale a suprafeței periferice primare de revoluție a sculei disc, ca bază pentru profilarea sculei profilate, care generează suprafața de revoluție

3.2. Suprafața elicoidală compusă a canalului elicoidal al burghiului multi-tăiș curb

Suprafața elicoidală a canalului burghiului multi-tăiș curb este o suprafață elicoidală cilindrică și de pas constant, având ca generatoare un ansamblu de arce de cerc, figura 3.1: C_1 - arc de cerc, reprezentând muchia de așchiere a tăișului principal; C_2 - arc de cerc, de rază r_1 , tangent la cilindrul reprezentând miezul burghiului, într-un plan perpendicular pe axa burghiului; C_3 - arc de cerc, de rază r_2 , în același plan cu arcul de cerc C_2 și tangent la acesta.

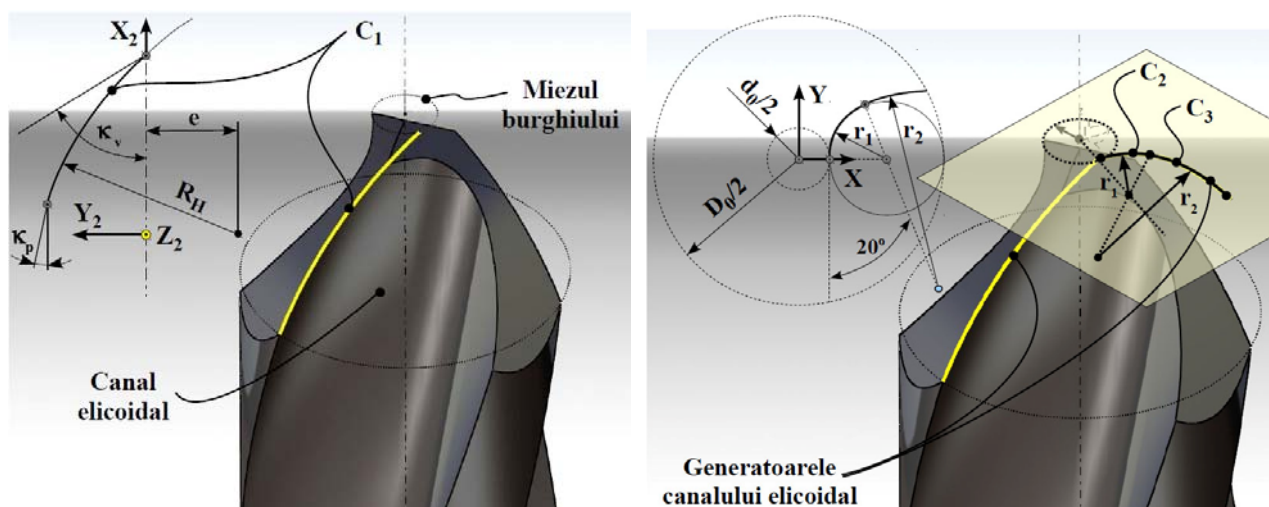


Fig. 3.1. Ansamblul de curbe generatoare a canalului elicoidal

Modelul analitic al canalului elicoidal compus

Ecuțiile parametrice ale generatoarei C_1 sunt de forma:

$$C_1 \begin{cases} X_2 = R_H \cdot \sin \kappa; \\ Y_2 = R_H \cdot \cos \kappa; \\ Z_2 = d_0 / 2, \end{cases} \quad (3.1)$$

cu κ - variabilă curentă, în limitele $\kappa_{\min} = \kappa_p$; $\kappa_{\max} = \kappa_v$.

Ecuatia suprafeţei elicoidale a canalului elicoidal, corespunzătoare tăşului principal este:

$$\Sigma_1 \begin{cases} X_2 = R_H \cdot \sin \kappa + p \cdot \theta; \\ Y_2 = R_H \cdot \cos \kappa \cdot \cos \theta - d_0 / 2 \cdot \sin \theta; \\ Z_2 = R_H \cdot \cos \kappa \cdot \sin \theta + d_0 / 2 \cdot \cos \theta. \end{cases} \quad (3.2)$$

- θ şi κ sunt parametri variabili independenţi pe arcul AB ; p - parametrul elicoidal al suprafeţei elicoidale, $p = P_E / 2\pi$; P_E - pasul elicoidal al canalului; d_0 - diametrul miezului burghiului, $d_0 = 0,2 \cdot D$, figura 3.2.

Cercul C_2 , tangent la cilindrul reprezentând miezul burghiului are ecuaţiile parametrice:

$$C_2 \begin{cases} X_2 = R_H \cdot \sin \kappa_v; \\ Y_2 = -r_2 \cdot \sin \theta_2; \\ Z_2 = r_2 \cdot (1 - \cos \theta_2), \end{cases} \quad (3.3)$$

cu θ_2 parametru variabil. Ecuatia suprafeţei elicoidale de axă X_2 , generată de arcul de cerc C_2 :

$$\Sigma_2 \begin{cases} X_2 = R_H \cdot \sin \kappa_v + p \cdot \theta; \\ Y_2 = -r_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \cos \theta - r_2 (1 - \cos \theta_2) \cdot \sin \theta; \\ Z_2 = -r_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin \theta + r_2 (1 - \cos \theta_2) \cdot \cos \theta, \end{cases} \quad (3.4)$$

cu θ_2 variabil între $\theta_{2\min} = 0$ şi $\theta_{2\max}$, $\theta_{2\max}$ fiind definit constructiv. Similar, mărimea razei r_2 .

Cercul C_3 , de rază r_3 , este definit în planul $X_2 = R_H \cdot \sin \kappa_v$, cu centrul în punctul O_3 :

$$C_3 \begin{cases} X_2 = R_H \cdot \sin \kappa_v; \\ Y_2 = r_3 \cdot \sin \theta_{2\max} - r_2 \cdot \sin \theta_{2\max} - r_3 \cdot \sin \theta_3; \\ Z_2 = r_2 + (r_3 - r_2) \cdot \cos \theta_{2\max} - r_3 \cdot \cos \theta_3. \end{cases} \quad (3.5)$$

- θ_3 este variabila curentă pe arcul de cerc BC , cu limitele de variaţie $\theta_{3\min} = \theta_{2\max}$.

Ecuatiile suprafeţei elicoidale ale canalului elicoidal, corespunzătoare arcului BC sunt:

$$\Sigma_3 \begin{cases} X_2 = R_H \cdot \sin \kappa_v + p \cdot \theta; \\ Y_2 = [(r_3 - r_2) \cdot \sin \theta_{2\max} - r_3 \cdot \sin \theta_3] \cdot \cos \theta - [r_2 + (r_3 - r_2) \cdot \cos \theta_{2\max} - r_3 \cdot \cos \theta_3] \cdot \sin \theta; \\ Z_2 = [(r_3 - r_2) \cdot \sin \theta_{2\max} - r_3 \cdot \sin \theta_3] \cdot \sin \theta + [r_2 + (r_3 - r_2) \cdot \cos \theta_{2\max} - r_3 \cdot \cos \theta_3] \cdot \cos \theta. \end{cases} \quad (3.6)$$

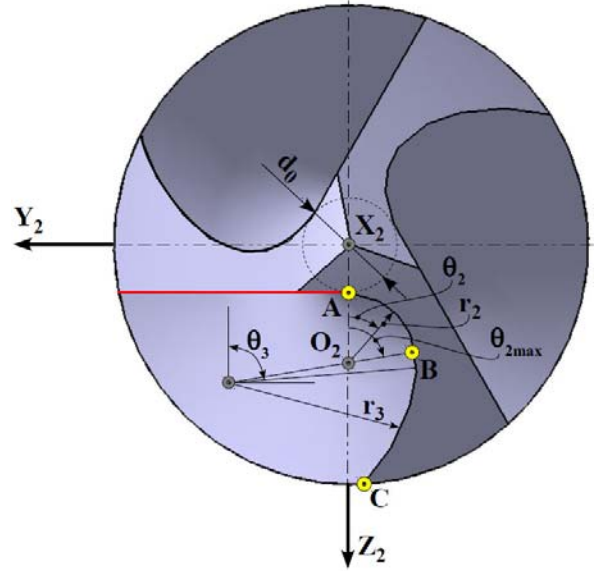


Fig. 3.2. Ansamblul de cercuri C_2 și C_3 ale canalului burghiului

3.3. Algoritm pentru profilarea suprafeţii periferice a sculei disc

Conform teoremei fundamentale Nikolaev, contactul între suprafaţa elicoidală, (ansamblul ecuaţiilor (3.2), (3.5) şi (3.6)) şi suprafaţa periferică primară a sculei disc, se face în lungul unei curbe, ce au cele două suprafeţe tangente – curba caracteristică, comună ambelor suprafeţe.

Cele două suprafeţe: suprafaţa elicoidală compusă (ansamblul suprafeţelor cilindrice şi de pas constant, Σ_1 , Σ_2 şi Σ_3) şi suprafaţa periferică a sculei de tip disc sunt suprafeţe conjugate.

În figura 3.3, este reprezentată poziţia relativă a suprafeţii elicoidale compuse (canalul elicoidal al burghiului) şi a suprafeţii periferice primare a sculei disc – suprafaţa de revoluţie.

Se definesc sistemele de referinţă: $X_2Y_2Z_2$ este sistemul de referinţă asociat canalului elicoidal al burghiului elicoidal multi-tăiş curb, cu axa X_2 suprapusă axei burghiului; XYZ – sistem de referinţă asociat axei suprafeţii de revoluţie, suprafaţă conjugată suprafeţii compuse a canalului elicoidal, cu axa Y suprapusă axei suprafeţii de revoluţie.

Axa suprafeţii de revoluţie, axa \vec{A} , este perpendiculară pe elicea corespunzătoare diametrului exterior al suprafeţii elicoidale.

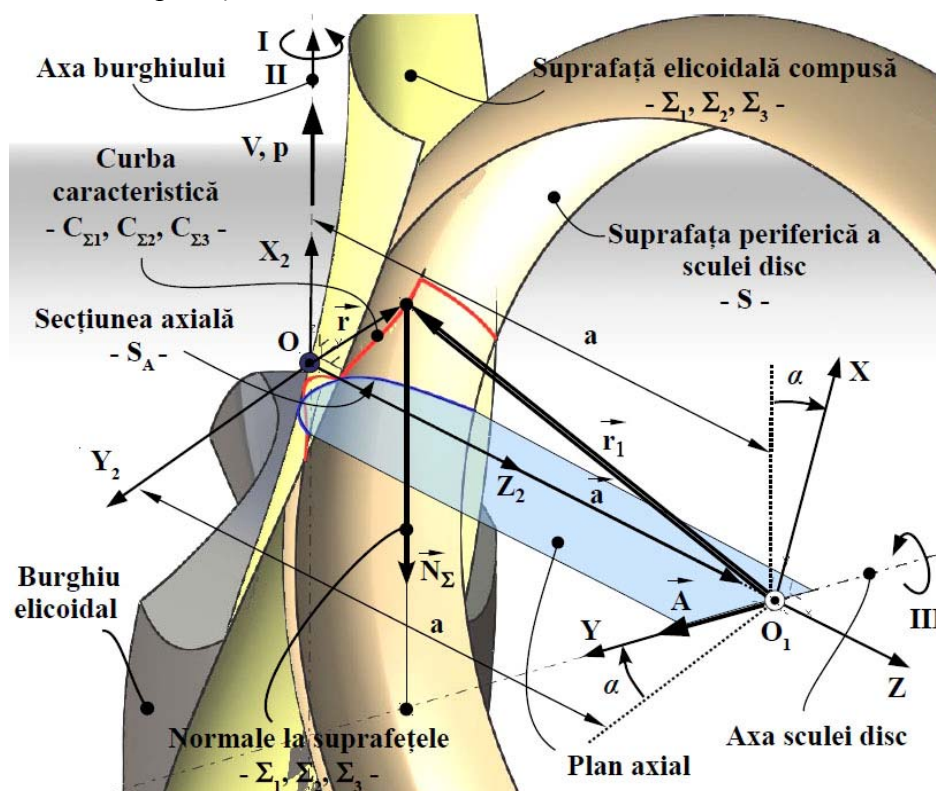


Fig. 3.3. Poziția relativă a suprafețelor conjugate; sisteme de referință

Condiția pentru determinarea curbei caracteristice la contactul (tangența) între suprafața elicoidală compusă și suprafața de revoluție (suprafața periferică a sculei disc) este

$$(\vec{A}, \vec{N}_\Sigma, \vec{r}_1) = 0, \quad (3.7)$$

în care: \vec{A} este vectorul asociat axei sculei disc (axa Y , în sistemul XYZ); \vec{N}_Σ - normala la suprafața Σ (definit, astfel, pentru ansamblul suprafețelor elicoidale Σ_1 , Σ_2 și Σ_3); \vec{r}_1 - vectorul de poziție al punctului curent de pe suprafața elicoidală compusă, în raport cu sistemul de referință XYZ al sculei disc.

Ecuațiile parametrice corespunzătoare celor trei suprafețe elicoidale constitutive ale suprafeții elicoidale compuse a canalului elicoidal al burghiului multi-tăiş curb, respectiv, parametrii directori ai normalelor la aceste suprafețe definesc o legătură algebrică între parametrii variabili ai suprafețelor.

Rezultă, pentru

$$\Sigma_1 : q_1(\kappa, \theta) = 0; \text{ şi, similar, } \Sigma_2 : q_2(\theta_2, \theta) = 0; \Sigma_3 : q_3(\theta_3, \theta) = 0. \quad (3.8)$$

Ansamblul format din ecuaţiile Σ_1 şi condiţia $q_1(\kappa, \theta)$:

$$C_{\Sigma_1} \begin{cases} X_2 = R_H \cdot \sin \kappa + p \cdot \theta; \\ \Sigma_1 : \begin{cases} Y_2 = R_H \cdot \cos \kappa \cdot \cos \theta - d_0 / 2 \cdot \sin \theta; \\ Z_2 = R_H \cdot \cos \kappa \cdot \sin \theta + d_0 / 2 \cdot \cos \theta; \end{cases} \\ q_1(\kappa, \theta) = 0, \end{cases} \quad (3.9)$$

reprezintă caracteristica C_{Σ_1} pe suprafaţa Σ_1 (suprafaţa de degajare a canalului burghiului).

Similar, pentru Σ_2 , rezultă:

$$C_{\Sigma_2} \begin{cases} X_2 = R_H \cdot \sin \kappa_v + p \cdot \theta; \\ \Sigma_2 : \begin{cases} Y_2 = -r_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \cos \theta - r_2 (1 - \cos \theta_2) \cdot \sin \theta; \\ Z_2 = -r_2 \cdot \sin \theta_2 \cdot \sin \theta + r_2 (1 - \cos \theta_2) \cdot \cos \theta; \end{cases} \\ q_2(\theta_2, \theta) = 0. \end{cases} \quad (3.10)$$

Pentru Σ_3 , există forma:

$$C_{\Sigma_3} \begin{cases} X_2 = R_H \cdot \sin \kappa_v + p \cdot \theta; \\ \Sigma_3 : \begin{cases} Y_2 = [(r_3 - r_2) \cdot \sin \theta_{2_{\max}} - r_3 \cdot \sin \theta_3] \cdot \cos \theta - [r_2 + (r_3 - r_2) \cdot \cos \theta_{2_{\max}} - r_3 \cdot \cos \theta_3] \cdot \sin \theta; \\ Z_2 = [(r_3 - r_2) \cdot \sin \theta_{2_{\max}} - r_3 \cdot \sin \theta_3] \cdot \sin \theta - [r_2 + (r_3 - r_2) \cdot \cos \theta_{2_{\max}} - r_3 \cdot \cos \theta_3] \cdot \cos \theta; \end{cases} \\ q_3(\theta_3, \theta) = 0. \end{cases} \quad (3.11)$$

Notă

Ansamblul curbelor caracteristice (3.9), (3.10), (3.11) trebuie să satisfacă condiţia de continuitate în punctele comune. În forma prezentată, curbele caracteristice sunt referite la sistemul de referinţă al burghiului, $X_2 Y_2 Z_2$.

În sistemul de referinţă al viitoarei scule disc, XYZ , se definesc ecuaţiile curbelor caracteristice:

$$C_{\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3} : \begin{cases} X = X_2 \cdot \cos \alpha - Y_2 \cdot \sin \alpha; \\ Y = Y_2 \cdot \sin \alpha + Z_2 \cdot \cos \alpha; \\ Z = Z_2 - a. \end{cases} \quad (3.12)$$

În forma (3.12), curbele caracteristice pot fi exprimate în sistemul de referinţă al sculei disc, XYZ :

$$C_{\Sigma_1} \begin{cases} X = X(\kappa); \\ Y = Y(\kappa); \\ Z = Z(\kappa), \end{cases} \quad C_{\Sigma_2} \begin{cases} X = X(\theta_2); \\ Y = Y(\theta_2); \\ Z = Z(\theta_2), \end{cases} \quad C_{\Sigma_3} \begin{cases} X = X(\theta_3); \\ Y = Y(\theta_3); \\ Z = Z(\theta_3). \end{cases} \quad (3.13)$$

Se poate determina secţiunea axială a sculei disc, vezi şi figura 3.4. Cunoscute fiind punctele de pe curba caracteristică compusă C_{Σ_1} , C_{Σ_2} , C_{Σ_3} în sistemul de referinţă al suprafeţei periferice a sculei disc, XYZ , se determină secţiunea axială a sculei disc, în coordonatele h şi R :

$$S_{A_{\Sigma_1}} : \begin{cases} h = Y(\kappa); \\ R = \sqrt{X^2(\kappa) + Z^2(\kappa)}; \end{cases} \quad (3.14)$$

$$S_{A_{\Sigma_2}} : \begin{cases} h = Y(\theta_2); \\ R = \sqrt{X^2(\theta_2) + Z^2(\theta_2)}; \end{cases} \quad (3.15)$$

$$S_{A_{\Sigma_3}} : \begin{cases} h = Y(\theta_3); \\ R = \sqrt{X^2(\theta_3) + Z^2(\theta_3)}; \end{cases} \quad (3.16)$$

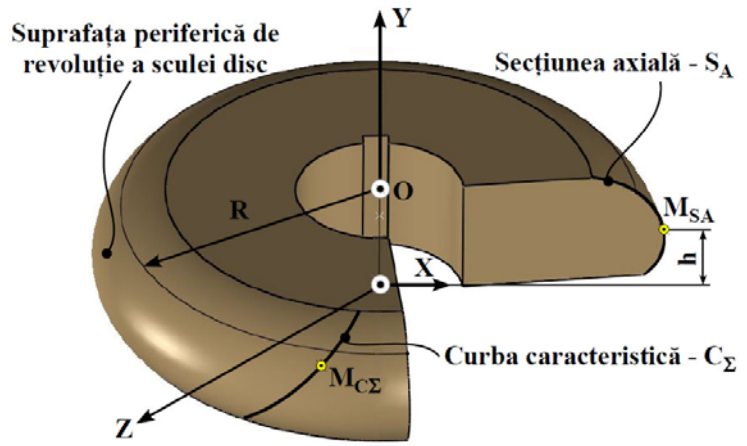


Fig. 3.4. Curba caracteristică și secțiunea axială: $M_{C\Sigma}$ - punct pe curba caracteristică; M_{SA} - punct pe secțiunea axială

Ansamblul arcelor de curbă $S_{A_{\Sigma_1}}$, $S_{A_{\Sigma_2}}$, $S_{A_{\Sigma_3}}$ reprezintă profilul șablonului (fizic sau virtual, la lucrul pe mașini cu comandă numerică) de „control” al sculei profilate cu care se face detalonarea sculei disc.

3.4. Metodă grafică de profilare a sculei disc

Metodei analitice, anterior prezentată, i se poate asocia, într-un mediu de proiectare grafică precum CATIA, o soluție grafică 3D a aceleiași probleme. Metoda grafică 3D se bazează pe o interpretare a condiției de înfășurare Nikolaev, anterior prezentată.

Condiția (3.7) poate fi interpretată ca reprezentând, pe suprafața Σ , locul geometric al

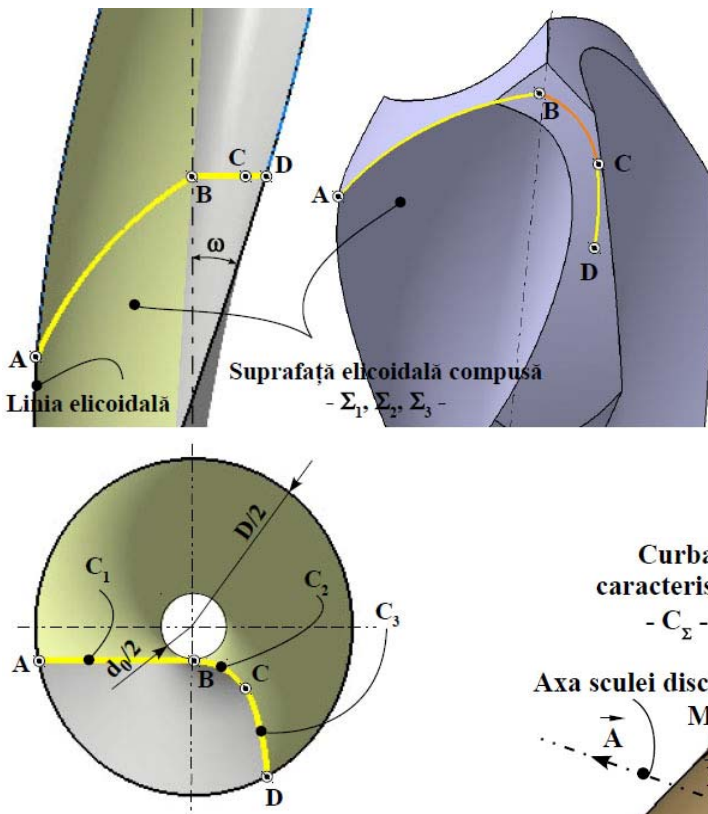


Fig. 3.6. Modelul 3D al suprafeței elicoidale

constant presupune realizarea modelului solid al suprafeței elicoidale – canalul elicoidal al burghiului, figura 3.6.

punctelor aparținând axei \vec{A} , din care s-au coborât normale pe suprafața Σ . Altfel spus, caracteristica C_Σ , comună suprafeței elicoidale Σ și suprafeței periferice primare a sculei disc, este locul geometric al punctelor aparținând suprafeței Σ , care reprezintă proiecția pe aceasta a axei \vec{A} a viitoarei scule disc [26], vezi figura 3.5.

Metoda grafică de profilare a sculei disc, mărginită de o suprafață de revoluție, reciproc înfășurătoare unei suprafețe elicoidale cilindrice și de pas

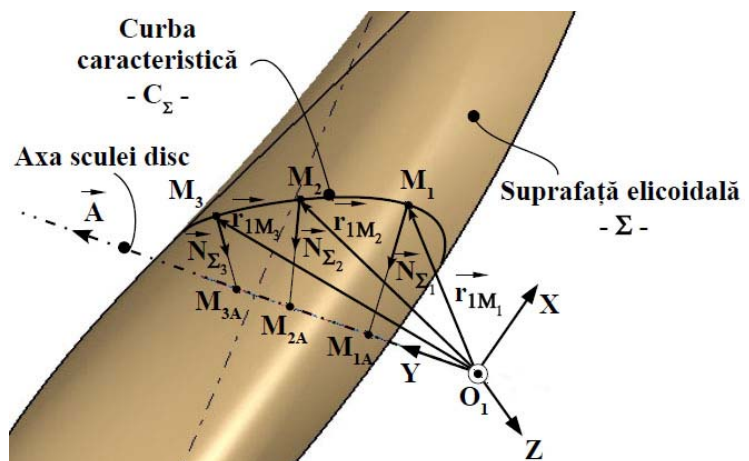


Fig. 3.5. Curba caracteristică, C_Σ și suprafața elicoidală, Σ

Se cunosc elementele: D - diametrul burghiului, [mm]; d_0 - diametrul miezului burghiului, [mm]; C_1 - muchia de așchiere principală în arc de cerc, de rază R_H , excentrică față de axa burghiului cu distanța e ; C_2 și C_3 - arce de cerc, de raze r_1 , respectiv r_2 , într-un plan perpendicular pe axa burghiului, la cota $X_2 = R_H$. În figurile 3.7, se prezintă curba caracteristică, C_Σ , iar în figura 3.8, secțiunea axială a suprafeței periferice primare a sculei disc, S_A .

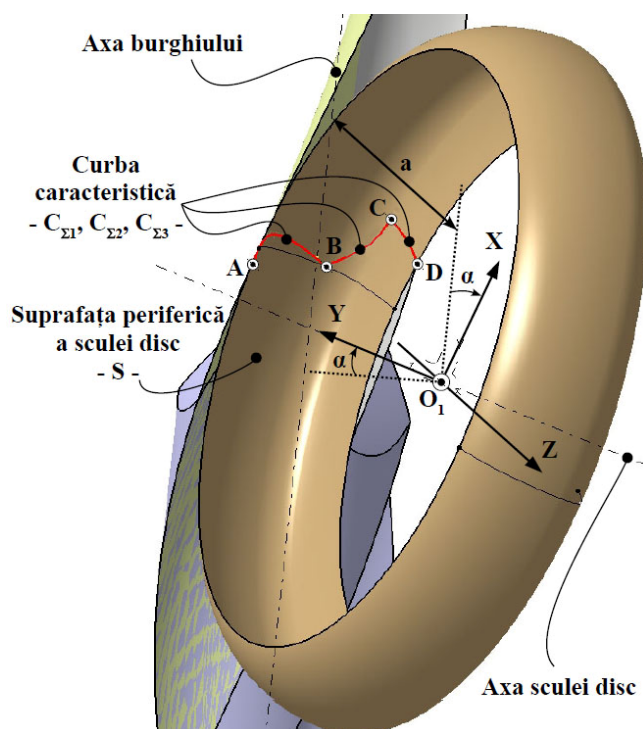


Fig. 3.7. Curba caracteristică, C_Σ

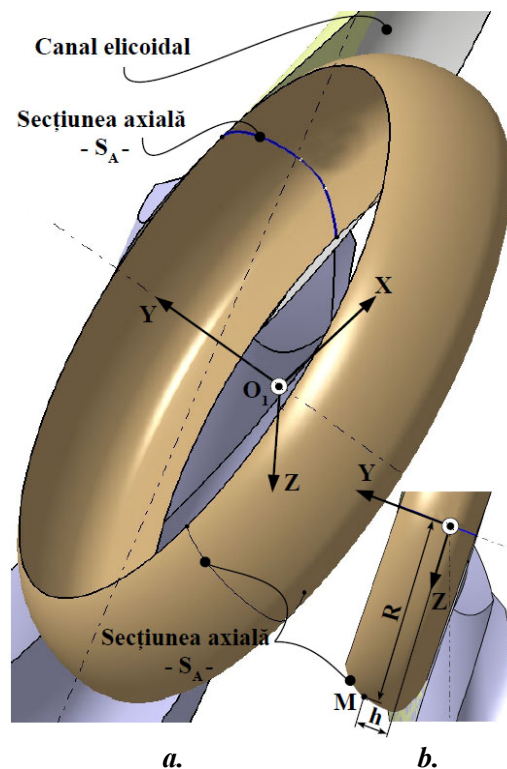


Fig. 3.8. Secțiunea axială, S_A (a) și vedere frontală (b)

3.5. Aplicații numerice

Se prezintă aplicații ale algoritmului pentru profilarea sculelor de tip disc, care generează canalele burghiilor elicoidale multi-tăiș curb, având geometriile definite în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Parametrii geometrici ai canalului burghiului

Parametru	Definiție	Valoare
D [mm]	- diametrul burghiului	20
d_0 [mm]	- diametrul miezului burghiului ($d_0 = 0,2 \cdot D$)	4
R_H [mm]	- raza arcului tăișului principal C_1	24,115
e [mm]	- excentricitatea axei burghiului față de axa hiperboloidului	12,057
H_0 [mm]	- poziția axei burghiului față de secțiunea minimă a hiperboloidului	100
κ_v [°]	- unghi de atac la vârful burghiului	60
κ_p [°]	- unghi de atac la periferia burghiului	25
a [mm]	- distanța între axa burghiului și axa sculei disc	32
p	- parametru elicoidal al canalului	172,630
r_1, r_2 [mm]	- raze ale suprafeței canalului elicoidal	$r_1 = 4, r_2 = 15$
ω [°]	- unghiul de înclinare al canalului elicoidal	20
θ_{2max} [°]	- unghiul la centru al generatoarei C_2	20
θ_{3max} [°]	- unghiul la centru al generatoarei C_3	86,55
Y_{2O_3}, Z_{2O_3} [mm]	- coordonatele centrului O_3	$Y_{2O_3} = 10,337$ $Z_{2O_3} = 9,762$

Pe baza coordonatelor secţiunii axiale, în figura 3.9 sunt prezentate formele secţiunilor axiale şi pentru trei burghie elicoidale multi-tăiş curb, de diametre $D = 16$ mm; $D = 18$ mm; $D = 20$ mm şi cu unghi de atac variabil, obţinute prin metoda analitică.

În figura 3.10 se prezintă forma secţiunii axiale pentru un burghiu cu diametrul $D = 20$ mm, obţinută prin metoda grafică, în mediul de lucru CATIA.

3.6. Concluzii

- Burghiele elicoidale multi-tăiş curb au o formă a canalului elicoidal diferită de cel al burghiilor standard cu două tăişuri rectilinii şi, ca urmare, generarea acestor canale trebuie făcută cu o sculă specifică.

- S-a elaborat un algoritm dedicat, în baza teoremei Nikolaev, pentru profilarea sculei disc, ca fiind conjugata suprafeţii elicoidale compuse a canalului.

- S-au prezentat aplicaţii numerice ale profilului axial al sculei de ordinul doi, pentru generarea canalelor burghiilor multi-tăiş curb.

- S-a prezentat o metodă de profilare a sculei disc, dezvoltată în mediul de proiectare grafică CATIA, în acelaşi scop – profilarea canalelor elicoidale ale burghiului elicoidal multi-tăiş curb. Rezultatele numerice ale profilurilor axiale ale sculelor disc sunt identice pentru cele două metode de profilare, analitică şi grafică.

- În baza acestor rezultate, se pot elabora şabloanele de control al sculelor disc generatoare a canalelor burghiului elicoidal multi-tăiş curb.

Capitolul 4

MODELE TRIDIMENSIONALE ALE BURGHIILOR ELICOIDALE MULTI-TĂIŞ CU TREI TĂIŞURI CURBE

În prezentul capitol, se folosesc facilităţile pachetului software integrat, CATIA, cu scopul de a obţine un burghiu virtual, în formă solidă, exportat într-un format specific, capabil de a fi utilizat în procese de simulare virtuală şi analiză cu elemente finite.

În acelaşi timp, s-a realizat o variantă de modelare prin reconstituirea virtuală, 3D, a unui burghiu elicoidal multi-tăiş cu tăişuri curbe, prin tehnici de inginerie inversă, cu acelaşi scop declarat al realizării modelului virtual.

4.1. Modelarea 3D a burghiilor elicoidale în mediul de proiectare grafică CATIA

4.1.1. Modelarea unui burghiu elicoidal cu două tăişuri rectilinii

Modelarea 3D a unui burghiu cu două tăişuri rectilinii în mediul grafic CATIA include mai multe componente: partea de prindere fixare şi partea aşchietoare a burghiului incluzând corpul burghiului, canalele elicoidale, suprafeţele de aşezare, tăişul transversal, faţetele de ghidare.

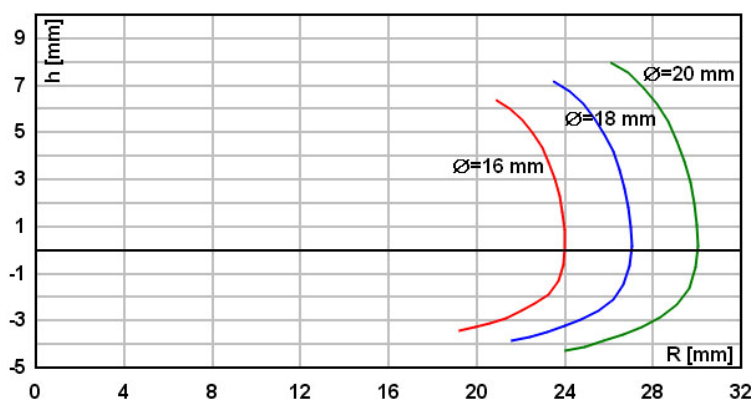


Fig. 3.9. Secțiune axială sculă disc pentru prelucrare canale burghiu - Ø16, Ø18, Ø20 mm, - metoda analitică

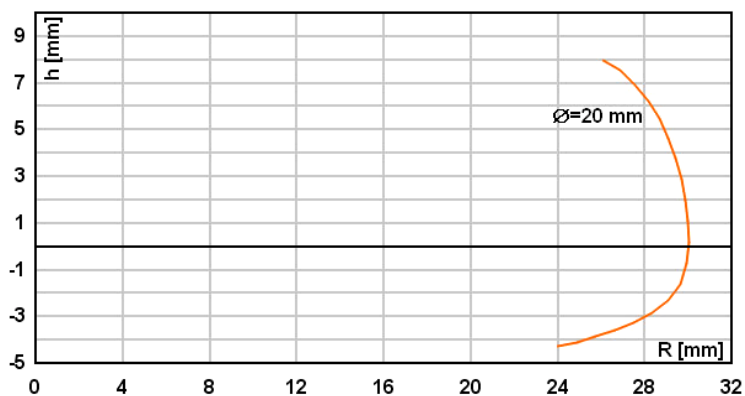


Fig. 3.10. Secțiune axială a sculei disc pentru prelucrare canalelor burghiului, Ø20 mm – metoda grafică

Principalii parametri geometrici ai unui burghiu elicoidal cu două tăşuri rectilinii (standard) sunt definiţi în figura 4.1.

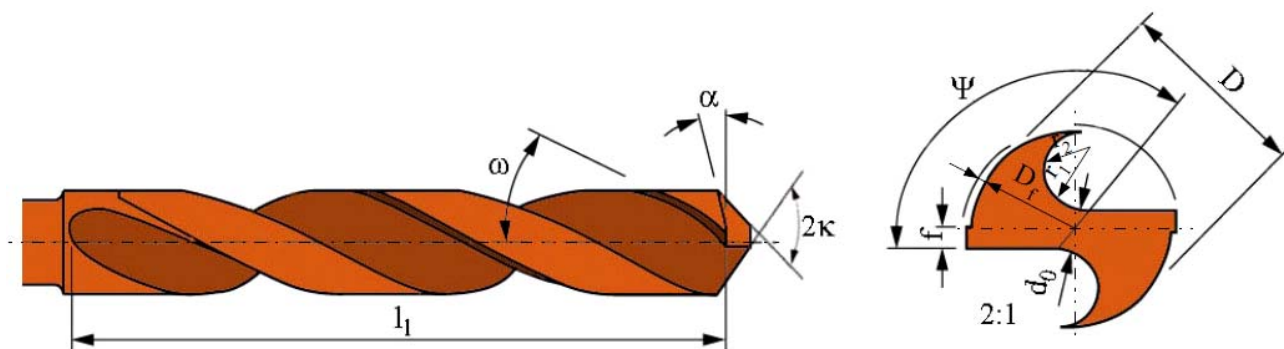


Fig. 4.1. Parametrii geometrici ai burghiului elicoidal standard

Valorile numerice ale parametrilor geometrici ai burghiului elicoidal, conform DIN ISO 5419 și STAS 575-80, sunt redată în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Valori numerice ale parametrilor geometrici

D [mm]	20	L [mm]	140
D_f [mm]	0,9	ω [°]	31
r_f [mm]	10	2κ [°]	118
r_2 [mm]	4	γ [°]	10
f [mm]	1,89	ψ [°]	59

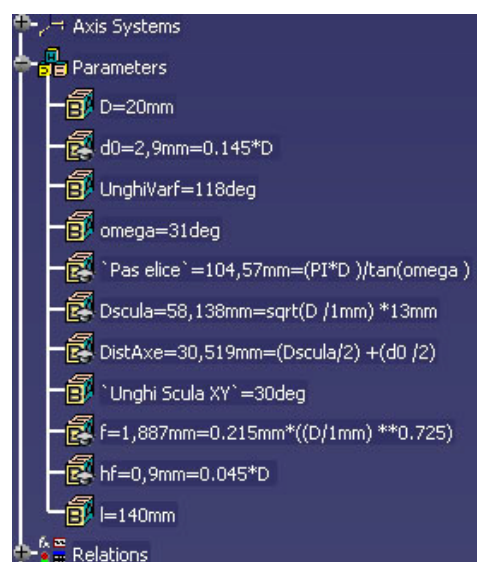


Fig. 4.2. Definierea parametrilor geometrici ai burghiului

Definierea parametrilor geometrici

Modelarea geometrică a unui burghiu elicoidal cu diametrul $D = 20$ mm, începe prin crearea unui fişier de tip *Part*, care va conţine, ca element grafic de intrare, poziţia originii şi a sistemului de axe pentru burghiu elicoidal.

După construirea cercului de bază şi a celui care defineşte miezul burghiului şi aplicarea constrângerilor din schiţă, se definesc parametrii geometrici principali, figura 4.2.

Modelarea canalului elicoidal al burghiului

La determinarea profilului canalelor se are în vedere: grosimea miezului burghiului (d_0), lăţimea canalului (B), forma tăşurilor burghiului, valoarea unghiului de atac (κ) şi pasul elicoidal al canalului (p_E).

Diametrul miezului burghiului (d_0) se adoptă în funcţie de diametrul exterior (D). În cazul burghiilor cu $D = 13...80$ mm, diametrul miezului se consideră $d_0 = (0,145...0,125) \cdot D$. Pentru mărirea rezistenţei,

miezul burghiului se execută conic, cu diametrul crescător spre coadă (conicitate de 1,4...1,8 mm pe lungimea de 100 mm). Pentru burghie din oţel rapid lăţimea canalului se adoptă uşor mai mare decât lăţimea dintelui ($B = 0,58 \cdot D$ – pentru $D = 8...20$ mm), figura 4.3.

Profilul canalului burghiului trebuie astfel stabilit încât, din intersecţia acestuia cu suprafaţa de aşezare principală a dintelui, să rezulte forma rectilinie a muchiei de aşchiere.

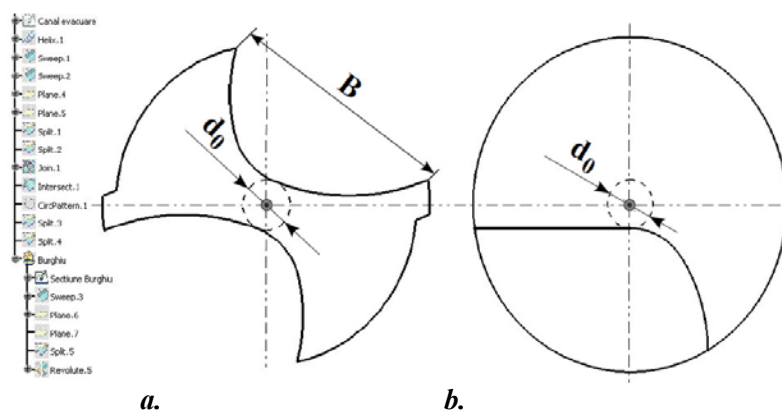


Fig. 4.3. Modelarea canalului elicoidal: secţiune transversală (a); vedere frontală (b)

În reprezentarea grafică în mediul CATIA, pentru trasarea curbei elicoidale se utilizează comanda *Helix*, figura 4.5a. Curba se va multiplica, prin decalare cu π radiani, pentru realizarea celui de-al doilea dinte. Determinarea profilului canalului burghiului se face într-un plan perpendicular pe axa elicei. Cu comanda *Swept* se obține canalul elicoidal, figura 4.5a, pornind de la profilurile generatoare ale formei canalului, profilul tășului și a canalului de evacuare a așchiei. Prin simetrie, se obține suprafața elicoidală a burghiului, de-a lungul celor două elice, considerate elemente de ghidare ale generatoarei transversale complexe, *ABCD*, figura 4.5b.

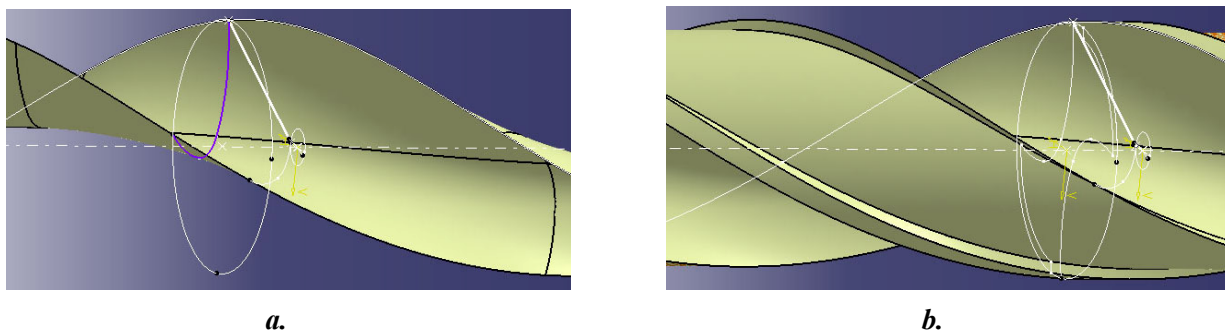


Fig. 4.5. Generarea canalelor elicoidale: comenzile *Helix* (a) și *Swept* (b)

Pentru realizarea suprafeței de așezare, se va proiecta în secțiunea longitudinală a burghiului, cele două tășuri rectilinii, astfel încât între acestea să existe un unghi la vârf, uzual, $2\kappa = 118^\circ$, figura 4.6. Suprafața de așezare a tășului principal se generează în mișcare elicoidală de axă *Z* și un parametru elicoidal (*p*), cu comanda *Helix*, conform procedurii de ascuțire Oliver (Suhov).

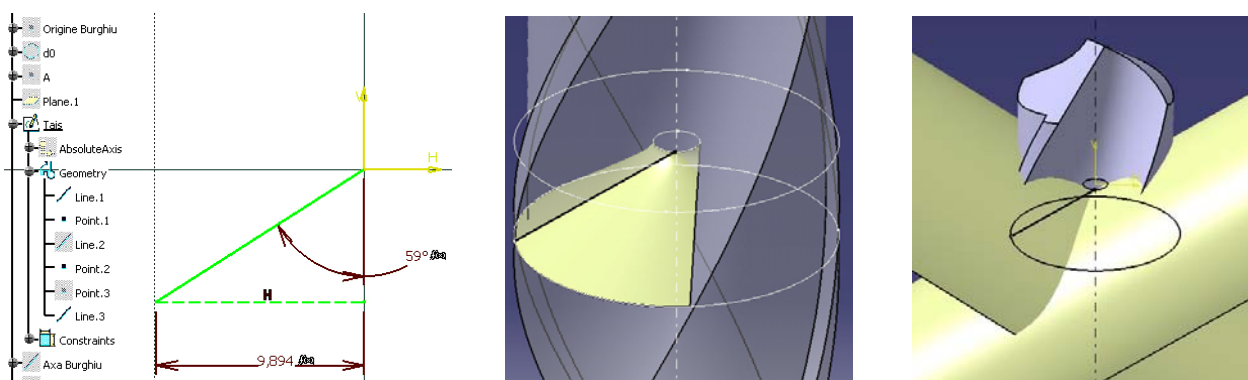


Fig. 4.6. Modelarea suprafeței de așezare

Cooda conică cu antrenor cu con Morse se obține prin rotirea secțiunii longitudinale a acesteia în jurul axei burghiului, pornind de la o schiță de bază, în care sunt definiți parametrii dimensionali ai conului Morse 2, comenzile utilizate în acest sens fiind *Sketch*, *Pad*, *Pocket*, *Mirror*, *Groove*, figura 4.7.

4.1.2. Modelarea unui burghiu elicoidal cu trei tășuri curbilinii

Modelarea burghiului elicoidal cu trei tășuri curbilinii pornește de la aceleași principii ca și în cazul burghiului standard. Elementele de diferențiere constau în înlocuirea tășului liniar al burghiului standard cu o muchie de așchiere curbă, circulară, de rază R_H , care asigură un unghi de atac variabil, între limitele $\kappa_v = 60^\circ$, $\kappa_p = 5 \div 12^\circ$, figura 4.8.

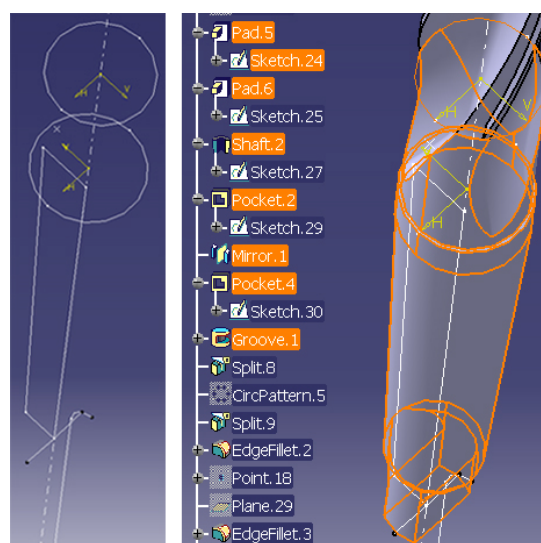


Fig. 4.7. Modelarea cozii burghiului

Modelarea corpului burghiului

În modelarea unui burghiu elicoidal cu tăşuri curbe, de diametrul $D = 20$ mm, se porneşte de la un cilindru de lungime $L = 130$ mm. Funcţia care permite realizarea curbei elicoidale în spaţiu, este *Helix*. Aceasta are următorii parametri: punctul de start al curbei, axa de înfăşurare a elicei, pasul axial, înălţimea curbei, orientare în sensul de parcurs, unghiul de start - măsurat de la punctul de iniţializare a curbei şi unghiul de înclinare al elicei. Curba elicoidală este folosită drept element de ghidare pentru profilul plan ce va fi deplasat prin comanda *Sweep*.

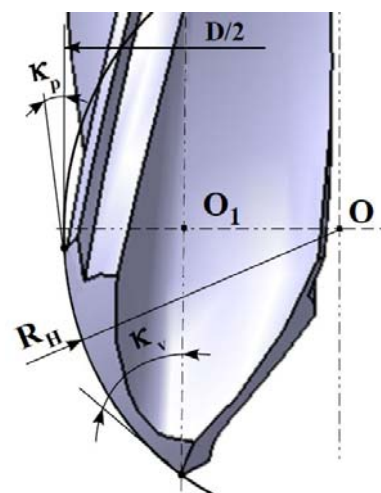


Fig. 4.8. Unghiurile κ_p și κ_v

Realizarea canalului elicoidal al burghiului

Se defineşte porţiunea AB ca definind profilul feţei de degajare în planul transversal, respectiv elementele ce compun profilul canalului de evacuare a aşchii, modelate prin compunerea a două arce de cerc, figura 4.9. Se multiplică elicea, respectiv, arcele de cerc ce compun forma canalului, prin comanda *Circular Pattern*. Secţiunea transversală a burghiului rezultă prin unirea elementelor canalului şi diametrul exterior al burghiului într-un profil închis, figura 4.10. Suprafaţa de aşezare a tăişului principal se obţine prin deplasarea muchiei de aşchiere principale în lungul generatoarei suprafeţei (aşcuţirea cilindrică), sau prin deplasarea unei generatoare rectilinii (aşcuţirea conică sau hiperboloidală) în jurul axei faţă de care este poziţionat burghiul şi muchia aşchietoare a acestuia, figura 4.11.

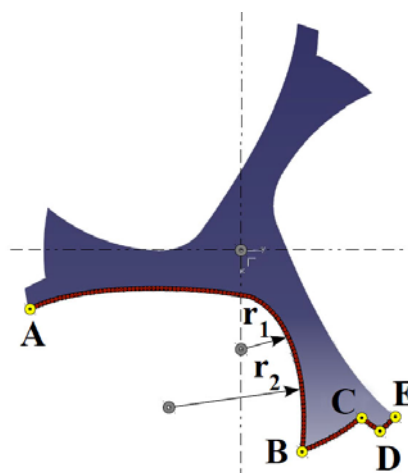


Fig. 4.9. Forma canalului elicoidal



Fig. 4.11. Modelarea suprafeţei de aşezare

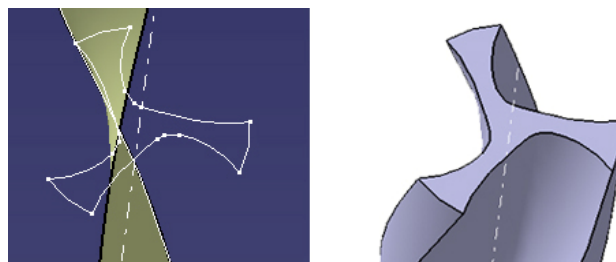


Fig. 4.10. Secţiunea transversală a burghiului

Modelarea cozii burghiului cu tăşuri curbilinii se poate realiza la fel ca cea a burghiului standard, prin utilizarea comenzilor specifice *Sketch*, *Pad*, *Pocket*, *Mirror*, *Groove*. În figura 4.12, se prezintă modelele solide ale burghiilor elicoidale cu două tăşuri rectilinii, respectiv cu tăşuri curbilinii.

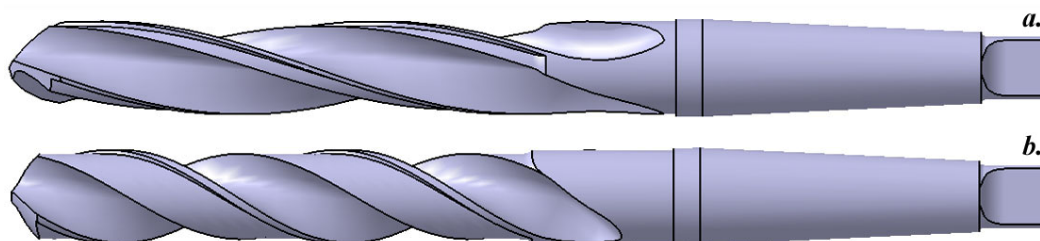


Fig. 4.12. Modelele solide ale burghiilor elicoidale: burghiu elicoidal cu trei tăşuri curbe (a); burghiu standard cu două tăşuri rectilinii (b)

Modelul solid al burghiului, se exportă în format solid, cu extensia .CATPart, pentru a fi utilizat în Ansys Workbench.

4.2. Modelarea burghiului elicoidal cu tăşuri curbe prin digitizare

Utilizarea ingineriei inverse în modelarea unui burghiu elicoidal multi-tăiş presupune, într-o primă etapă, scanarea 3D a acestuia, prin procesul de scanare captându-se geometria, forma suprafeţelor compuse şi numeroase caracteristici, care sunt dificil de măsurat utilizând tehnicile tradiţionale.

4.2.1. Sistemul de digitizare şi metodologia de lucru

Sistemul de scanare cuprinde un digitizor (MicroScribe) cu un senzor laser (MicroScan sensor), montat într-un dispozitiv de fixare, figura 4.13, sursă de alimentare, cablu serial şi USB, sferă de calibrare montată pe un minitrepied. Partea software de prelucrare a datelor este reprezentată de ImageWare NX.

Profilul burghiului s-a vizualizat în diferite poziţii în fereastra principală a computerului, ajustându-i-se poziţionarea în interiorul limitelor de lucru. În aceste condiţii, curba de profil a laserului a fost considerată optimă atunci când a putut fi vizualizată în



Fig. 4.13. Ansamblul dispozitivului de scanare şi digitizor de scanare (MicroScribe)

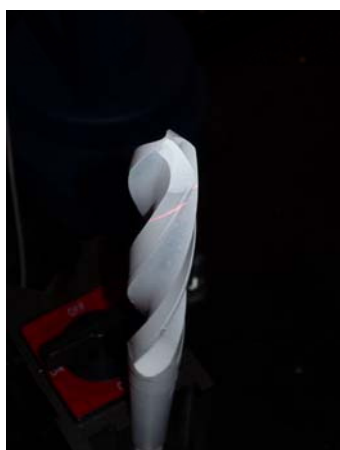


Fig. 4.14. Curba de profil de pe burghiul elicoidal

fereastra grafică şi pe burghiu ca o curbă îngustă, dar proeminentă, cu variaţii de intensitate mici, figura 4.14. Informaţiile care descriu caracteristicile geometrice ale burghiului sunt înregistrate sub forma unor „nori de puncte”.

4.2.2. Obţinerea modelului 3D al burghiului prin inginerie inversă

Prelucrarea datelor presupune mai multe etape, acestea fiind: rafinarea grafică (eliminarea neuniformităţilor), uniformizarea scanărilor multiple (reducerea numărului de scanări multiple, unirea suprafeţelor scanate, aranjarea şi crearea norilor de puncte după curbe polinomiale), discretizarea suprafeţelor (transformarea în poligoane de triangulaţie). Aceste operaţii s-au executat automat, prin softul maşinii, utilizând o gamă de filtre predefinite. Transformarea punctelor scanate într-un „nor de puncte” (*Pointcloud*) s-a realizat cu reducerea punctelor brute, obţinute prin scanare. Netezirea (*Smooth*) are scopul de a reduce dimensiunea norului de puncte, prin neteziri succesive ajungându-se la o formă finală, fig. 4.15.

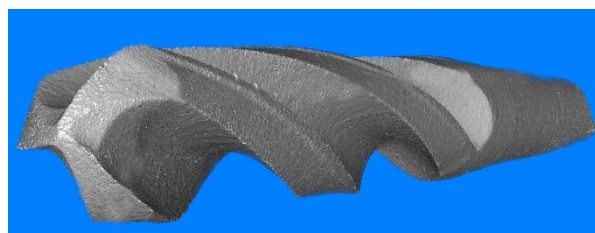


Fig. 4.15. Postprocesare prin neteziri succesive

Datele captate s-au salvat într-un fișier format .STL.

Procesul de prelucrare a datelor presupune parcurgerea etapelor:

- Alinierea norului de puncte la un sistem de coordonate, prin construcția de elemente auxiliare punct (cerc), linie, plan (extrase din norul de puncte). Punctul de intersecție al celor trei tășuri curbe a fost ales drept punct în care se poziționează sistemul de coordonate, pe direcția axei Z considerându-se axa burghiului, figura 4.16;

- Utilizarea planelor de secțiune pentru definirea suprafețelor ce vor fi extrase din modelul scanat, care vor constitui curbele pentru modelul 3D recompus al burghiului. În acest sens, s-au definit mai multe plane de nivel echidistante, pe două regiuni: zona tășurilor curbe și zona părții utile, figura 4.16;

- Extragerea formelor geometrice complexe (curbe și suprafețe) sunt folosite pentru a oferi un set mai adecvat modelului, pentru rigurozitatea noii geometrii a burghiului. În figura 4.17, se prezintă curbele ce definesc burghiul elicoidal multi-tăiș.

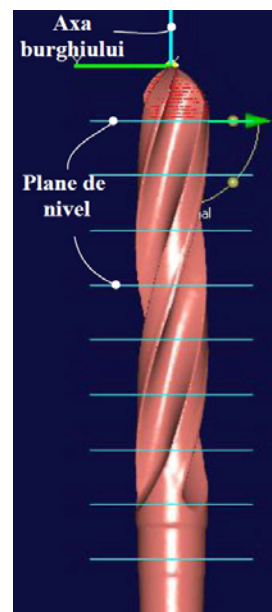


Fig. 4.16. Alinierea norului de puncte la un sistem de coordonate

Concluzii

În vederea simulării cu elemente finite a proceselor de deformare elastică și a modului în care are loc transferul termic în burghiul elicoidal cu trei tășuri curbe, s-a realizat modelarea 3D a acestuia, pornind de la două ipostaze de lucru diferite:

- modelarea spațială în mediul grafic de proiectare CATIA a burghiului s-a realizat având drept punct de plecare valorile parametrilor geometrice din standardele în vigoare, completată cu o serie de specificații obținute în urma dezvoltării analitice;

- transpunerea modelului fizic al burghiului în formă digitală, prin tehnici de inginerie inversă, cu scopul de a reda cât mai fidel parametrii geometrice ai sculei utilizată în realizarea testelor experimentale, precum și pentru rapiditatea în lucru, comparativ cu proiectarea CAD.

Ambele reprezentări au permis exportul fișierului sursă pentru pachetul soft de analiză cu element finit, Ansys Workbench, însă s-a optat pentru modelul CAD realizat în CATIA, datorită mai buneii compatibilități cu pachetul grafic de simulare virtuală CAE.

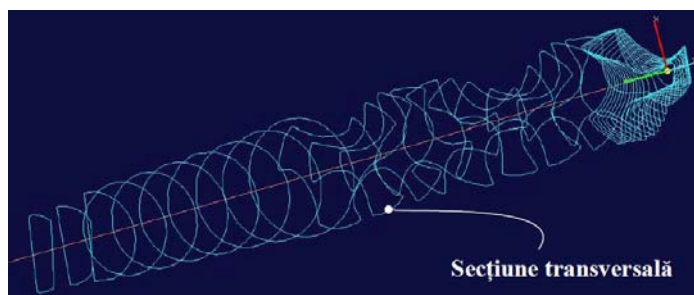


Fig. 4.17. Curbele ce definesc modelul solid

Capitolul 5

UTILIZAREA METODEI CU ELEMENTE FINITE ÎN MODELAREA FENOMENELOR SPECIFICE PROCESULUI DE BURGHIERE

5.1. Introducere

Aplicațiile specializate de analiză cu elemente finite (FEM), cu module atât pentru 2D, cât și pentru 3D, au apărut din necesitatea simulării digitale într-un mediu virtual a proceselor de burghiere [22], [24], [35], [41].

5.2. Starea de tensiuni și modelarea cu elemente finite a deformației totale pentru burghiile multi-tăiș curb

Stabilirea ipotezelor de lucru în analiza procesului de burghiere

S-au luat în considerare burghie cu două geometrii diferite, etichetate BTR – burghiu cu tăiș rectiliniu și BTC – burghiu cu tăiș curbiliniu, în gama a trei diametre $\varnothing 16$ mm, $\varnothing 18$ mm și $\varnothing 20$ mm, analiza făcându-se în mod explicit pentru burghiile cu diametrul de $\varnothing 20$ mm.

Obiectivul principal este de a realiza verificarea la solicitările principale la care este supus burghiul elicoidal, prin simularea condiţiilor de lucru reale, stabilind şi modul în care se realizează încărcarea energetică, ce revine tăşurilor celor două tipuri de burghie luate în discuţie, crescătoare de la vârf spre periferia sculei, în cazul burghiilor standard cu două tăşuri rectilinii sau o încărcare relativ constantă, la burghiul multi-tăiş curb. Forţele axiale şi momentele de torsiune măsurate prin teste experimentale sunt utilizate pentru a determina condiţiile de încărcare şi verificare la solicitări a burghiilor elicoidale.

Verificarea burghiului la efortul tangenţial maxim

Burghiile elicoidale sunt supuse, în procesul aşchierii, unei solicitări de torsiune, datorată momentului, M_z , şi unei solicitări de compresiune, datorată forţei axiale, F_z , ceea ce presupune verificarea lor la solicitări compuse. Cercetările experimentale au demonstrat că, burghiile elicoidale uzuale se rup exclusiv datorită eforturilor tangenţiale de torsiune, efectul forţei axiale fiind cu totul minor. O condiţie prin care se poate verifica rezistenţa burghiilor la solicitări de torsiune, datorită momentului M_z , este cea care ţine seama de modulul de rezistenţă polar, W_p . Astfel, din [34], se consideră:

$$\tau_{\max} = \frac{M_z}{W_p} \text{ [MPa]}; \quad (5.1)$$

În care: M_z - moment de torsiune [$\text{N} \cdot \text{m}$]; W_p - modul de rezistenţă polar [mm^3]. Pentru oţelul Rp3, $\tau_{adm.} = 520$ [MPa]. Pe baza coordonatelor punctelor de pe secţiunea transversală a burghiului cu două tăşuri rectilinii, respectiv, a burghiului cu trei tăşuri curbilinii, obţinute după modelarea în mediul grafic CATIA, s-au calculat, prin intermediul facilităţilor oferite de pachetul soft cu elemente finite Cosmos, o serie de caracteristici geometrice ale celor două tipuri de burghie, tabelele 5.1 şi 5.2.

În figurile 5.1a şi 5.1b, sunt reprezentate secţiunile transversale ale burghiului cu două tăşuri rectilinii şi trei tăşuri curbilinii, discretizate cu elemente de tip patruleter.

Tabelul 5.1. Caracteristici geometrice ale burghiilor cu două tăşuri rectilinii (BTR), Ø20 mm

Aria [mm^2]	Momente de inerţie axiale [mm^4]				Momente de inerţie principale [mm^4]			Raze de giraţie (inerţie) [mm]		
	I_x	I_y	$I_z = I_p$	I_{xy}	$I_1 = I_p$	I_2	I_3	R_x	R_y	R_z
123,24	4234	992	5226	759,9	5226	4404	822,7	5.862	2.837	6.512

Tabelul 5.2. Caracteristici geometrice ale burghiilor cu trei tăşuri curbilinii (BTC), Ø20 mm

Aria [mm^2]	Momente de inerţie axiale [mm^4]			Momente de inerţie principale [mm^4]			Raze de giraţie (inerţie) [mm]		
	I_x	I_y	$I_z = I_p$	$I_1 = I_p$	I_2	I_3	R_x	R_y	R_z
66,5996	1154	1154	2309	2309	1154	1154	4,163	4,163	5,888

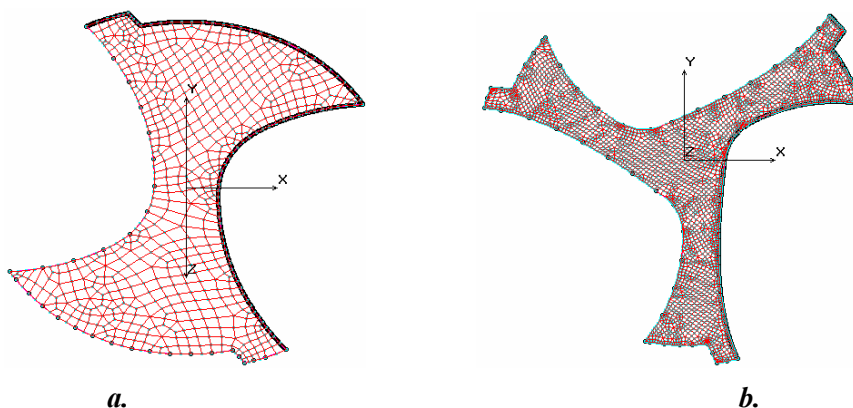


Fig. 5.1. Modele ale secţiunilor transversale ale burghiului cu două tăşuri rectilinii (a) şi trei tăşuri curbilinii (b)

Modulul de rezistenţă polar, W_p , [mm³] este definit de relaţia:

$$W_p = W_t = \frac{I_p}{D/2}. \quad (5.2)$$

În tabelul 5.3, exemplificativ, sunt prezentate valorile momentului de torsiune şi a efortului tangenţial maxim pentru un burghiu cu tăişuri curbilinii, de diametru Ø20 mm, la prelucrarea materialului 18MnCr11.

Tabelul 5.3. Valorile momentului de torsiune şi a efortului tangenţial maxim, BTC Ø20

Material	s [mm/rot]	M_z [N·m]	τ_{max} [MPa]	Material	s [mm/rot]	M_z [N·m]	τ_{max} [MPa]
OL37	0,16	41,81	181,074	18MnCr11	0,16	26,17	113,339
	0,25	56,31	243,871		0,25	61,91	268,124
	0,4	70,31	304,504		0,4	65,24	282,546

După cum se observă din datele din tabelul 5.3, inegalitatea (5.1) este respectată, burghiul testat în condiţii experimentale rezistă la efortul tangenţial maxim.

Verificarea la stabilitatea echilibrului elastic (flambaj)

Pe lângă solicitările de torsiune şi compresiune axială, pentru burghiu este necesară şi o verificare la flambaj. Pierderea stabilităţii (flambajul) poate fi definită ca apariţia bruscă a unei deformaţii, ca urmare a transformării energiei pe direcţia axei longitudinale a burghiului în energie de încovoiere, fără nici o modificare a sarcinilor.

Condiţia specifică ce se impune la o solicitare de flambaj a unui burghiu elicoidal este de forma [151]:

$$F_z \leq \frac{P_f}{c_f}; \quad (5.3)$$

în care: F_z este forţa axială [N]; P_f - forţa de flambaj [N]; c_f - coeficientul de siguranţă la flambaj.

Forţa de flambaj se determină cu relaţia lui Euler: $P_f = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{min}}{l_f^2}$ [N]

în care: $E = 2,1 \cdot 10^5$ [N/mm²] este modulul lui Young; l_f - lungimea de flambaj; I_{min} - momentul de inerţie al secţiunii transversale a burghiului; $l_f = 0,7 \cdot L$ [mm]; L - lungimea totală a burghiului. Pentru un coeficient de siguranţă la flambaj $c_f = 5$ [148], condiţia (5.3) devine:

$$F_z \leq \frac{P_f}{c_f} = 1481,53 \text{ N.}$$

În tabelul 5.4, sunt prezentate valorile forţelor axiale pentru un burghiu cu tăişuri rectilinii, de diametru Ø20 mm, la prelucrarea cu avansurile de lucru de 0,16, 0,25 şi 0,4 mm/rot, a două materiale: OL37 şi 18MnCr11.

Tabelul 5.4. Valorile forţelor axiale determinate experimental, BTR Ø20

Material	s [mm/rot]	F_z [N]	Material	s [mm/rot]	F_z [N]
OL37	0,16	922,63	18MnCr11	0,16	679,07
	0,25	1108,16		0,25	925,25
	0,4	1468,44		0,4	1244,4

Din datele transpuse în tabelul 5.4, se observă că, valorile forţelor axiale obţinute pe cale experimentală satisfac condiţia (5.3), de solicitare la flambaj.

Generarea modelului în Ansys Workbench

Analiza proprietăţilor mecanice ale burghiilor elicoidale s-a făcut în regim static, în modulul *Static Structural*. Pentru o analiză cât mai corectă a celor două tipuri de burghie elicoidale, s-au utilizat două module specifice, *Static Structural* şi *Linear Buckling*, interconectate.

Discretizarea modelului solid, stabilirea solicitărilor şi a condiţiilor la limită

Schematizarea obişnuită, în calculul de rezistenţă, consideră burghiul elicoidal o bară încastrată în zona de prindere în mandrină, având specificate atât partea activă, aşchietoare, cât şi partea de prindere-fixare, figura 5.2.

Încărcarea burghiului a fost determinată prin formule de bază, dintr-o serie de condiţii specifice, care definesc forţele de aşchiere tangenţiale şi axiale pe o unitate de lungime de tăiş, în funcţie de condiţiile de aşchiere (avansul de lucru, viteza de aşchiere, duritatea materialului de lucru etc.).

Astfel, în cazul burghiului cu tăşuri rectilinii, s-a definit presiunea pe tăişul principal conform relaţiei:

$$p_A = F_z / a \cdot \sin \kappa \quad [\text{N/mm}^2]; \quad (5.4)$$

În tabelul 5.5, sunt prezentate datele necesare calculului grosimii aşchiei pentru un burghiu cu tăşuri rectilinii, de diametru Ø20 mm, pentru un avans $s = 0,16$ mm/rot.

Tabelul 5.5. Valorile presiunii constante în lungul muchiei de aşchiere, BTR Ø20

p_A [N/mm ²]	a [mm]	κ [°]	s_d [mm]	s [mm/rot]	D [mm]
3250	0,061	60	0,08	0,16	20

În urma calculelor efectuate şi corelând cu datele experimentale [58], valoarea presiunii, pentru încărcarea burghiului cu tăşuri rectilinii, a fost de aproximativ 3250 N/mm².

În cazul burghiului cu tăşuri curbilinii, dat fiind faptul că grosimea aşchiei nu este uniformă, ci este crescătoare de la periferie spre vârful burghiului, grosimea aşchiei a impus luarea în considerare a unghiului de atac variabil, descrescător de la vârful sculei - κ_v spre periferie - κ_p .

În acest fel, grosimea aşchiei, în punctul curent, este:

$$a_k = (R_H + s_d \cdot \cos \theta) - R_H = s_d \cdot \cos \theta, \quad (5.5)$$

Rezistenţa unitară de aşchiere la detaşarea aşchiei [N/mm²], echivalentul presiunii de încărcare a tăişului curbiliniu, se poate exprima ca o caracteristică de material în forma:

$$R_k = -162,3 \cdot a_k^2 + 234,4 \cdot a_k + 6,163 \quad [\text{N/mm}^2]. \quad (5.6)$$

În tabelul 5.6, sunt prezentate datele necesare calculului grosimii aşchiei pentru un burghiu cu tăşuri curbilinii, de diametru Ø20 mm, pentru un avans $s = 0,16$ mm/rot. În modulul *Setup* al aplicaţiei Ansys, s-a stabilit modul în care s-a făcut impunerea condiţiilor la limită, prin precizarea direcţiei acţiunii presiunii pe tăişurile celor două tipuri de burghie.

În aceste condiţii, prin opţiunea *FBlend* s-a creat, la o distanţă de 0,1mm faţă de tăişurile celor două tipuri de burghie, o unitate de suprafaţă necesară aplicării presiunii. În cazul burghiului cu tăşuri rectilinii, s-a considerat o singură valoare a presiunii pe cele două tăşuri principale, cât şi în lungul tăişului transversal, figura 5.3a.

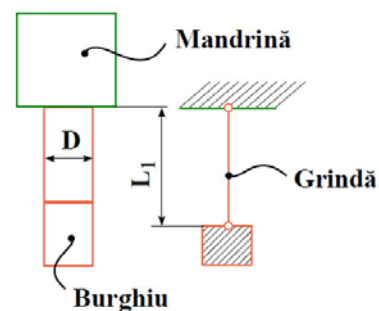


Fig. 5.2. Ipoteza simplificatoare pentru burghiul elicoidal

Tabelul 5.6. Valorile presiunii de încărcare variabile, BTC Ø20

R_k [N/mm ²]	a [mm]
3800	0,043
3850	0,041
3950	0,039
4100	0,036
4200	0,033
4400	0,030
4700	0,025
5250	0,020
7000	0,012

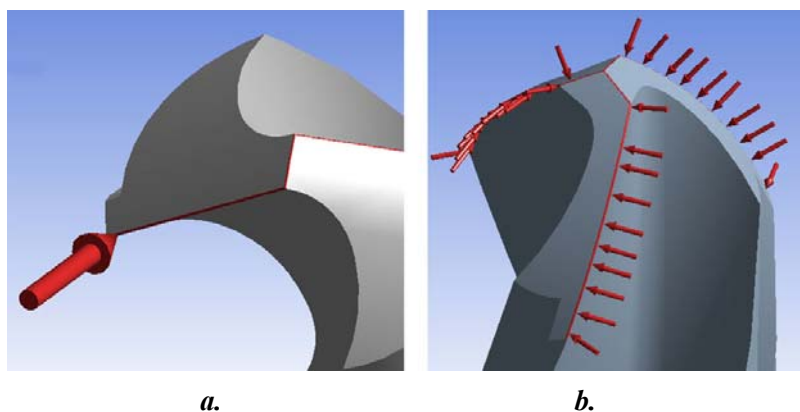


Fig. 5.3. Repartizarea presiunii la burghiile cu tăişuri rectilinii (a) și curbilinii (b)

La burghiul cu tăişuri curbilinii, dată fiind grosimea variabilă a aşchiei, tăişurile principale curbe au fost divizate în 10 unități de lungime de tăiş egale, fiecărei astfel de unitate i se aplică presiunea calculată, conform datelor din tabelul 5.6, figura 5.3b. În ambele cazuri, presiunea s-a considerat normală pe tăiş.

Modele ale stărilor de deformății ale burghiului

Efectuarea simulărilor pentru condițiile de prelucrare impuse, în vederea stabilirii unor rezultate optime, vizează deformarea totală, reacțiunea forței și momentul de încărcare, calculul flambajului linear, prin definirea factorului de amplificare a forței până la forța critică de flambaj. Deformarea burghiului cu tăişuri rectilinii este prezentată în figura 5.4 și pentru burghiul multi-tăiş curb în figura 5.5.

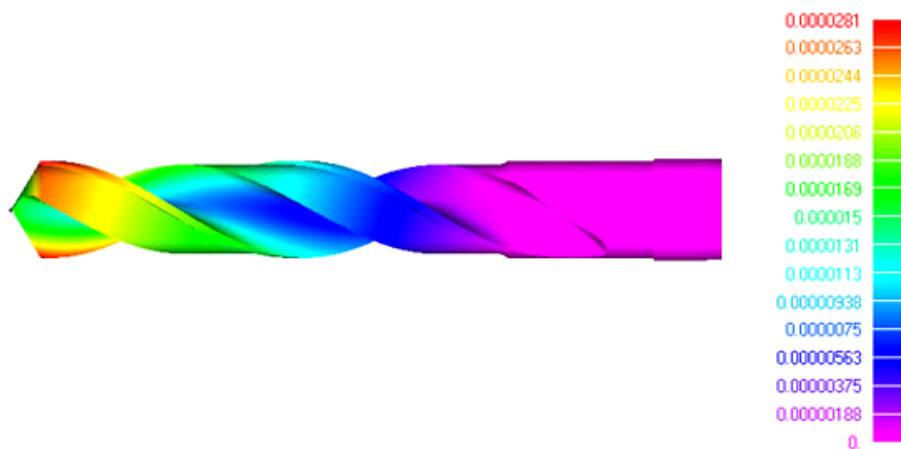


Fig. 5.4. Deformația totală la burghiul cu tăişuri rectilinii, Ø20 mm

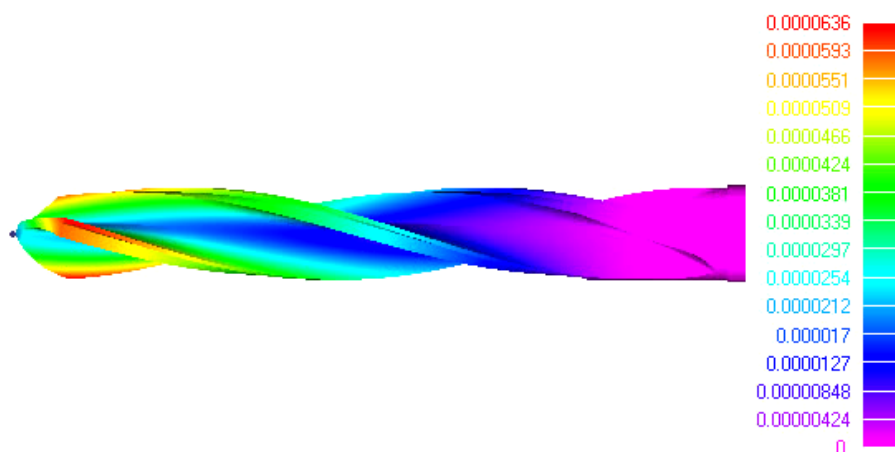


Fig. 5.5. Deformația totală la burghiul cu tăişuri curbilinii, Ø20 mm

Analiza statică a structurii a permis determinarea deformaţiei totale în cele două burghie. Burghiile cu tăişuri curbilinii se caracterizează printr-o deformaţie structurală mai mare (0,063 mm), ca urmare a dimensiunilor secţiunilor transversale diferite faţă de a burghiului standard (0,028 mm).

În urma analizei burghiilor elicoidale la solicitarea compusă, se obţin valorile pentru forţa axială (1936,3 N - pentru burghiul cu tăişuri rectilinii şi 1198,5 N - pentru burghiul cu tăişuri curbilinii) şi valorile pentru momentul de torsiune capabil (48,155 N·m - pentru burghiul cu tăişuri rectilinii şi 132,42 N·m - pentru burghiul cu tăişuri curbilinii), figura 5.6.

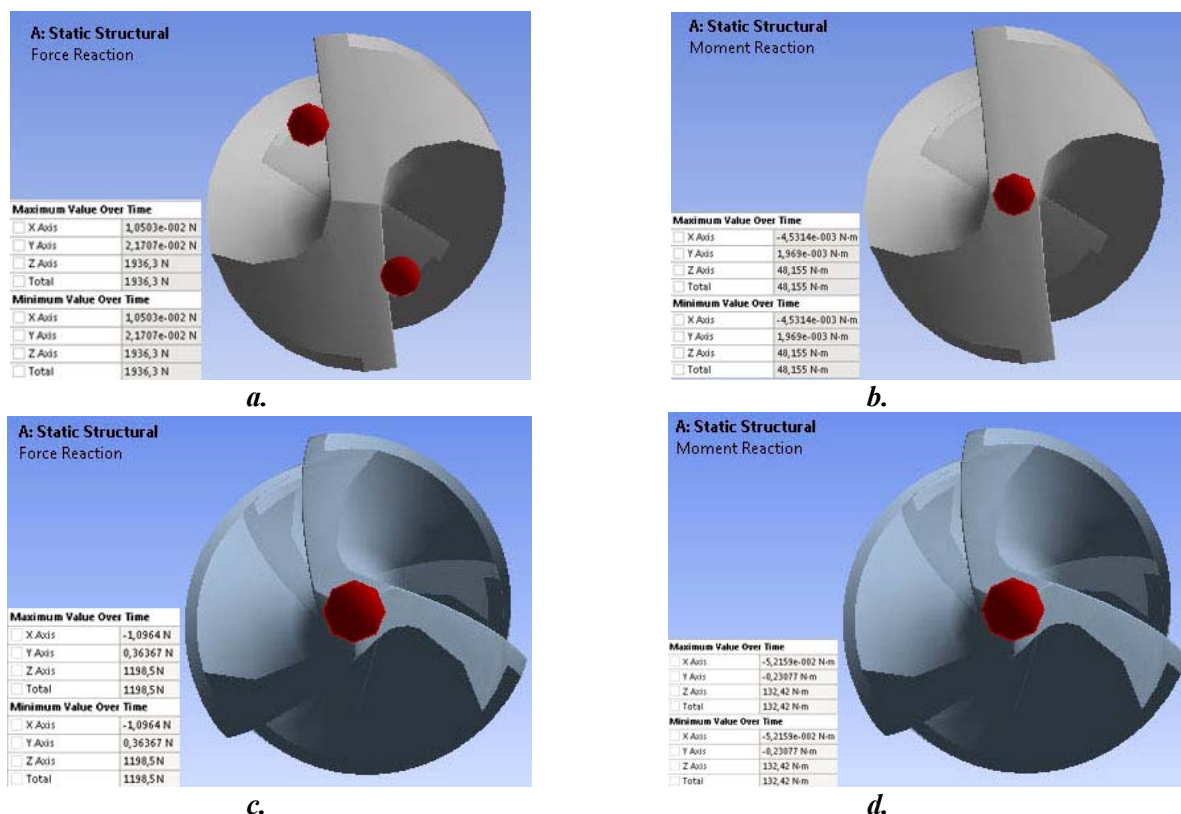


Fig. 5.6. Forţa axială şi momentul capabil pentru burghiul standard (a, b) şi burghiul cu tăişuri curbilinii (c, d), în analiză statică structurală

Verificarea la stabilitatea echilibrului elastic, pentru cele două geometrii ale burghiilor elicoidale s-a făcut prin modulul *Linear Buckling*, cu scopul de a determina factorul de amplificare a încărcării până la atingerea valorii de pierdere a stabilităţii. În urma analizei, a rezultat deformata celor două tipuri de burghie, figura 5.7a şi 5.7b.

Din figura 5.7, prin analiza valorică a factorului de multiplicare a forţei, de 26,571 în cazul burghiului cu tăişuri standard şi de 20,291 pentru burghiul cu tăişuri curbe, se observă că stabilitatea echilibrului elastic este mai redusă la burghiul cu tăişuri curbilinii, decât la burghiile cu tăişuri rectilinii. Tensiunile Von Mises de $3.025e11$, respectiv $6.803e11$ reprezintă tensiunile la care burghiile ar intra în buckling local.

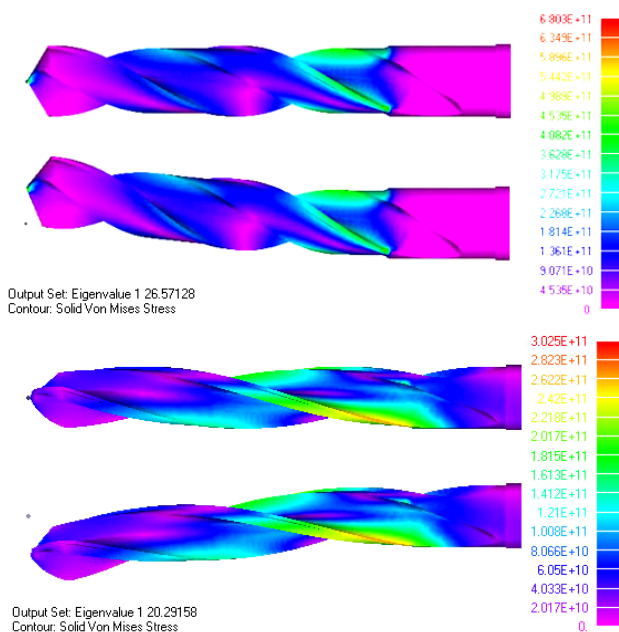


Fig. 5.7. Stabilitatea echilibrului elastic: BTR, Ø20 mm (a); BTC, Ø20 mm (b)

5.3. Utilizarea metodei cu elemente finite în modelarea transferului de căldură în burghiul elicoidal – studiu comparativ

Dat fiind faptul că determinările experimentale, realizate prin metoda termografierii (vezi capitolul 6), se referă la o prelucrare care substituie procesul de burghiere, fiind o strunjire transversală cu un tăiş al burghiului elicoidal, nu au scopul de a valida un model de investigare a fenomenelor de transfer termic prin analiza cu elemente finite a unui proces de burghiere în sine. *Scopul principal al analizei cu elemente finite este acela de a evidenţia tendinţa variaţiei temperaturii în lungul muchiei de aşchiere şi de a demonstra faptul că, la burghiile cu tăişuri rectilinii, temperatura creşte progresiv de la miezul burghiului către periferie, iar la burghiile cu tăişuri curbe, temperatura din zona periferică a muchiei de aşchiere se diminuează în comparaţie cu cea a burghiilor standard.*

Prin urmare, se ia în discuţie grosimea aşchiei, ca fiind principalul element ce determină modul de distribuţie a temperaturii, grosimea aşchiei fiind constantă în lungul tăişului la burghiile cu tăişuri rectilinii şi variabilă, crescătoare de la periferie către vârf, în cazul burghiilor cu tăişuri curbe. Se face abstracţie de bilanţul termic, neglijându-se căldura preluată de aşchie, semifabricat, mediul de aşchiere şi acceptând că, numai un proces de conducţie în corpul sculei este activ. Plecând de la ipoteza de calcul pentru aria elementului de aşchie, se defineşte, pentru cele două tipuri de burghie elicoidale, grosimea aşchiei într-un punct curent şi, pe baza acesteia, mărimea încărcării termice pentru diverşi parametri ai regimului de aşchiere, de exemplu, pentru avansuri având valorile: $s = 0,4$ mm/rot, $s = 0,25$ mm/rot şi $s = 0,16$ mm/rot.

Distribuirea încărcării termice s-a realizat prin divizarea fiecărui tăiş al burghiilor în 10 unităţi de lungime de tăiş egale, pentru fiecare unitate existând un flux termic echivalent, figura 5.8, şi ale căror valori sunt specificate în tabelul 5.7. În calculul puterii consumate pe un element de lungime a tăişului, viteza unghiulară a burghiului se consideră, $\omega = 1$ rad /s, care este de cel puţin 10 ori mai mică decât realitatea fizică.

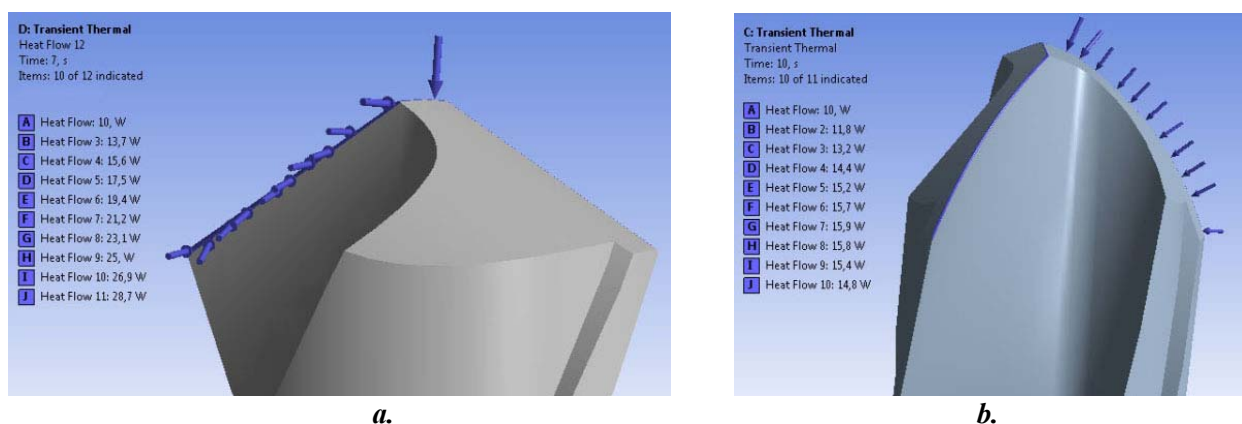


Fig. 5.8. Repartizarea fluxului termic la burghiile cu tăişuri rectilinii (a) şi curbilunii (b)

Tabelul 5.7. Valorile mărimii fluxului termic pentru BTR şi BTC, Ø20 mm, pentru $\omega = 1$ rad/s

Tipul sculei	q [W]	$s = 0,4$ mm/rot, $D = 20$ mm										
Tăiş rectiliniu	q_{BTR}	10,0	13,6	17,3	20,9	24,5	28,1	31,8	35,4	39,0	42,7	46,3
Tăiş curb	q_{BTC}	10,0	13,4	16,2	18,3	19,8	20,6	20,7	20,1	18,9	17,3	15,3
Tipul sculei	q [W]	$s = 0,25$ mm/rot, $D = 20$ mm										
Tăiş rectiliniu	q_{BTR}	10,0	12,6	15,1	17,7	20,3	22,8	25,4	28,0	30,5	33,1	35,7
Tăiş curb	q_{BTC}	10,0	12,4	14,4	15,9	17,0	17,6	17,7	17,4	16,8	15,7	14,5
Tipul sculei	q [W]	$s = 0,16$ mm/rot, $D = 20$ mm										
Tăiş rectiliniu	q_{BTR}	10,0	11,9	13,7	15,6	17,5	19,4	21,2	23,1	25,0	26,9	28,7
Tăiş curb	q_{BTC}	10,0	11,7	13,2	14,4	15,2	15,7	15,9	15,8	15,4	14,8	14,0

În figurile 5.9 şi 5.10, este reprezentată distribuţia de temperatură în lungul tăişului principal, pentru burghiile cu două tăişuri rectilinii şi cu trei tăişuri curbilinii, pentru un avans $s = 0,16$ mm/rot, pentru 1 secundă, respectiv 7 secunde - timpul de încărcare cu fluxul termic.

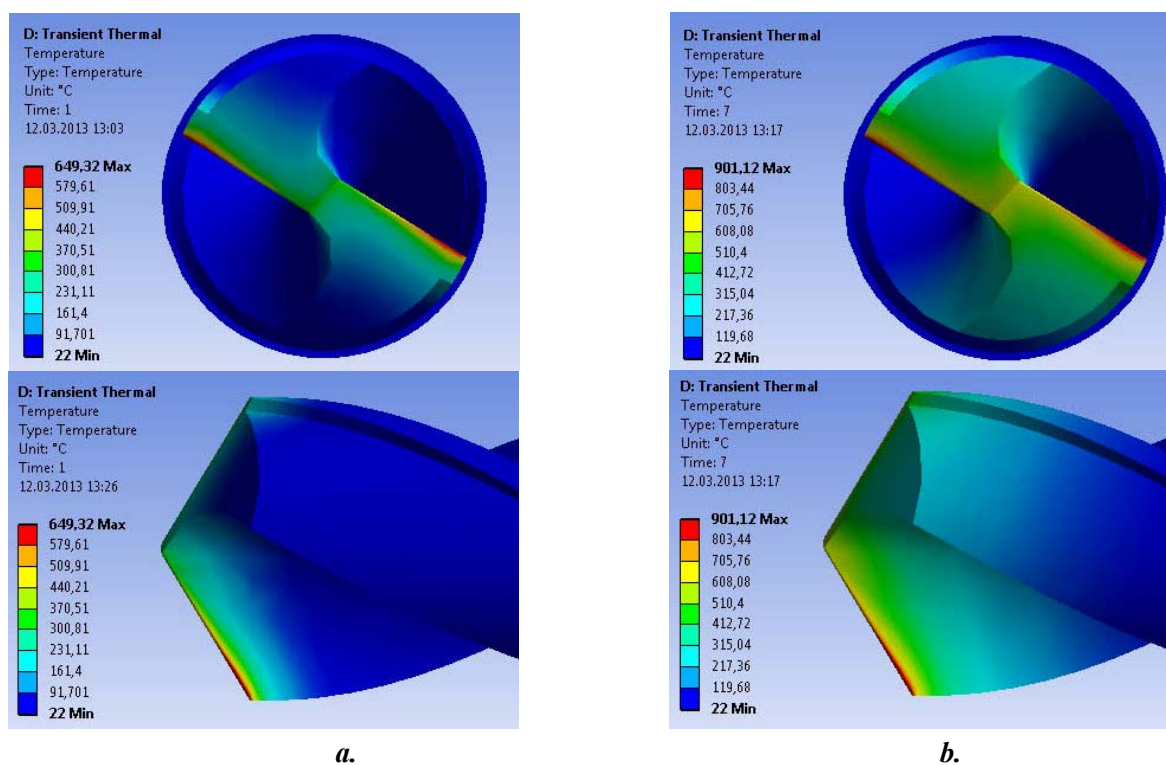


Fig. 5.15. Distribuţia de temperatură în lungul tăişului, BTR 20, $s=0,16$ mm/rot, pentru $t = 1s$ (a); $t = 7s$ (b)

Se poate observa că temperatura este crescătoare de la vârful burghiului către periferia acestuia şi se majorează cu creşterea avansului de lucru. În acelaşi timp, se face observaţia că pe măsură ce creşte timpul de prelucrare (de la 1 secundă la 7 secunde), creşte, de asemenea, temperatura tăişului şi a corpului burghiului.

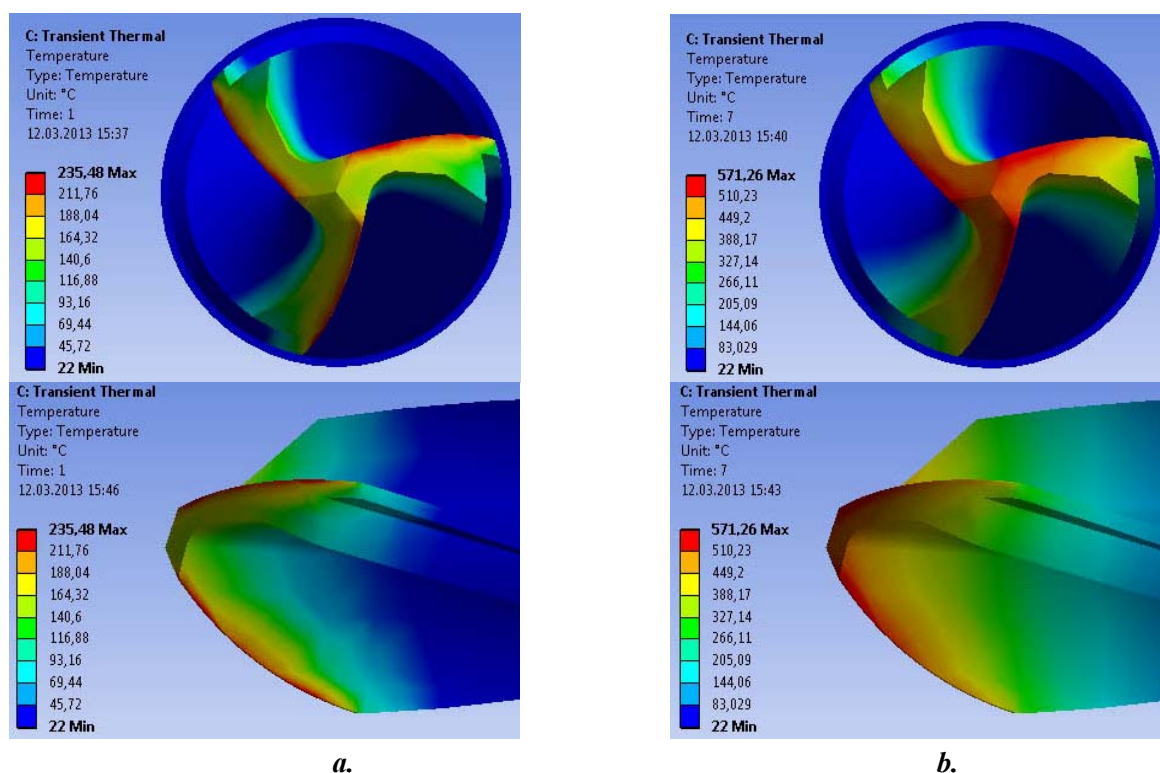


Fig. 5.18. Distribuţia de temperatură în lungul tăişului, BTC 20, $s=0,16$ mm/rot, pentru $t = 1s$ (a); $t = 7s$ (b)

Concluzii

În urma analizei cu element finit a unui proces de burghiere ce studiază tendinţa în care are loc transferul de căldură doar în scula aşchietoare, considerând-o un corp solid perfect izolat termic, în condiţii de avans variabil, se pot formula concluziile:

- La burghiile cu muchie de aşchiere curbă valorile temperaturilor sunt inferioare celor înregistrate în cazul burghiilor cu tăişuri rectilinii, pentru aceleaşi condiţii de modelare, fapt care va conferi un avantaj burghiilor cu tăişuri curbilinii, în ceea ce priveşte durabilitatea;

- La burghiile cu tăişuri rectilinii, s-a observat că temperatura este crescătoare în lungul muchiei de aşchiere principale, de la vârf spre periferia burghiului, zonă în care temperatura este maximă, lucru ce va influenţa uzura preponderentă a burghiului la periferia acestuia;

- La burghiile cu tăişuri curbilinii, temperatura punctelor de pe tăiş, din zona periferică a muchiei de aşchiere, se diminuează în comparaţie cu a burghiilor standard, demonstrând o încărcare energetică mai uniformă în cazul acestui tip de tăiş;

- În ambele cazuri, şi la burghiile cu tăişuri rectilinii şi la cele cu tăişuri curbilinii, odată cu creşterea avansului, are loc şi o mărire a temperaturii modelate, fapt similar cu ceea ce se întâmplă în, mod curent, în practică.

Capitolul 6

CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND COMPORTAREA ÎN AŞCHIERE A BURGHIELOR ELICOIDALE CU TREI TĂIŞURI CURBE

6.1. Premisele cercetării experimentale

Sintetic, cercetarea experimentală privind comportarea în aşchiere a burghiilor elicoidale cu trei tăişuri curbe, în comparaţie cu cea a burghiilor cu tăişuri rectilinii, este definită în figura 6.1.

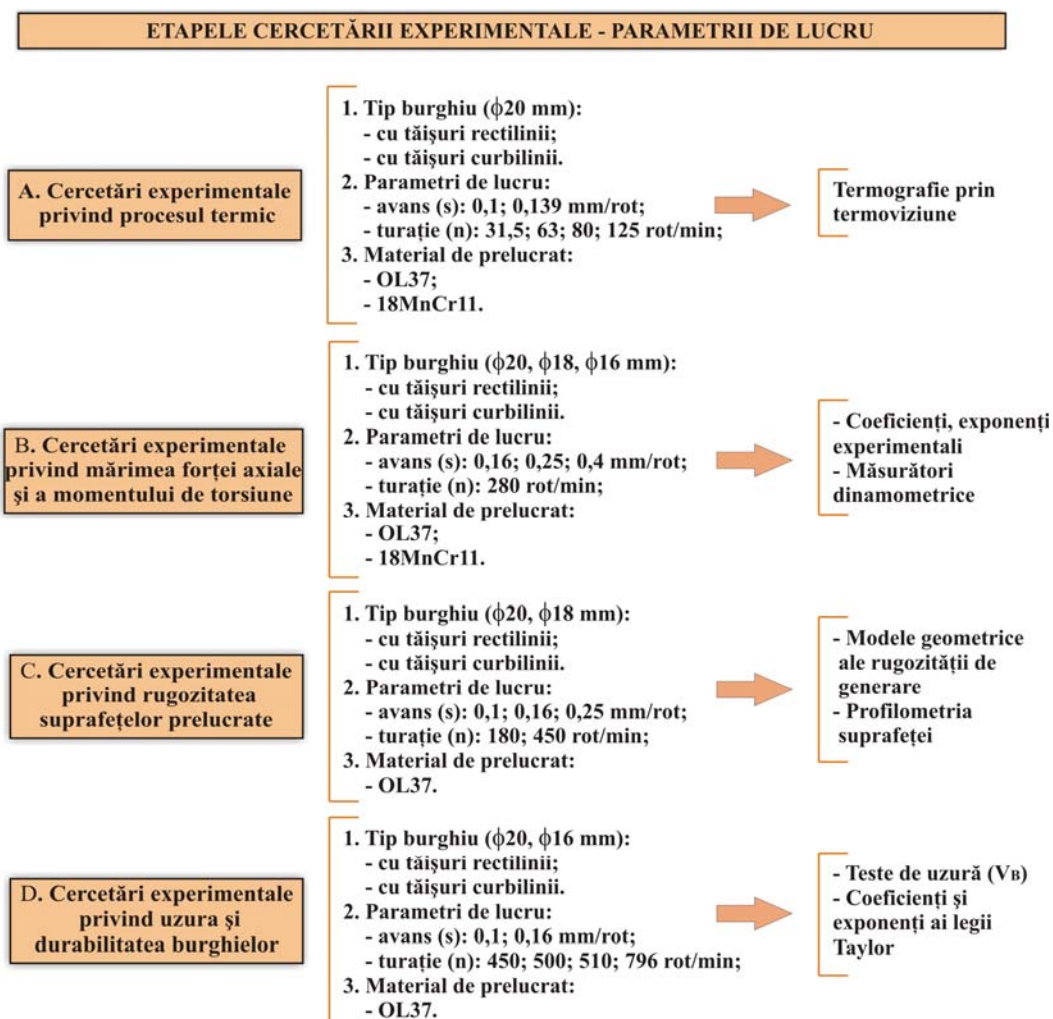


Fig. 6.1. Reprezentarea schematică a cercetării experimentale

6.2. Cercetarea experimentală a temperaturii tăişului burghiului prin simularea prin strunjire a legii de variaţie a vitezei de aşchiere la burghiere în lungul tăişului

6.2.1. Descrierea echipamentului şi a metodologiei de cercetare experimentală

În cadrul prezentului experiment, s-a realizat simularea procesului termic în lungul tăişului burghiului, prin strunjire transversală, conform schemei prezentate în figura 6.2, cu unul dintre tăişurile burghiului elicoidal standard sau multi-tăiş curb, vizându-se efectul mărimilor avansului şi vitezei de aşchiere, respectiv, a geometriei sculei aşchietoare asupra temperaturii din zona de contact sculă aşchietoare-semifabricat de prelucrat.

Diametrul D_0 al semifabricatului este comparabil cu diametrul burghiului, $D_0 \approx D$, iar diametrul d_0 este egal cu diametrul miezului burghiului. În aceste condiţii, pentru un timp scurt, se reproduce, prin strunjire, aceeaşi variaţie a vitezei de aşchiere în lungul tăişului principal al burghiului, ca în procesul efectiv de burghiere.

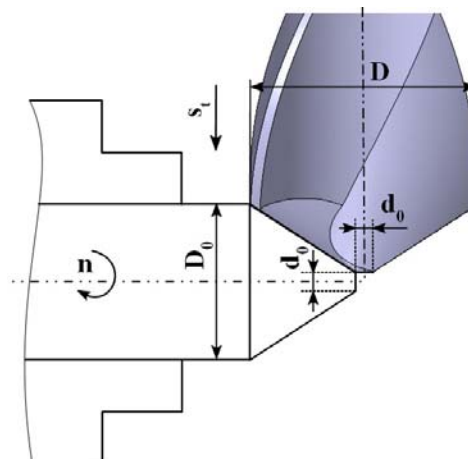


Fig. 6.2. Schema de aşchiere - strunjire transversală cu tăişul burghiului

Echipamentul experimental

Experimentele au fost realizate pe un strung SN400, fără agent de răcire, la temperatura mediului ambiant, în hala de maşini-unelte a Departamentului de Ingineria Fabricaţiei din cadrul Facultăţii de Mecanică, echipamentul necesar determinării mărimilor înregistrate fiind redat în figura 6.3: cameră termoviziune infraroşu FLIR Systems ThermoVision A20M (1); epruvete din OL37, respectiv 18MnCr11 (2); burghie elicoidale cu două tăşuri rectilinii, respectiv trei tăşuri curbilinii, de diametru $\varnothing 20$ mm (3); software-ul specializat pentru achiziţionarea şi prelucrarea termogramelor ThermoCAM Researcher Professional (4); regulator de temperatură TOHO TTM 004 (5); strung normal SN400 – sistem de prindere a semifabricatului (6).

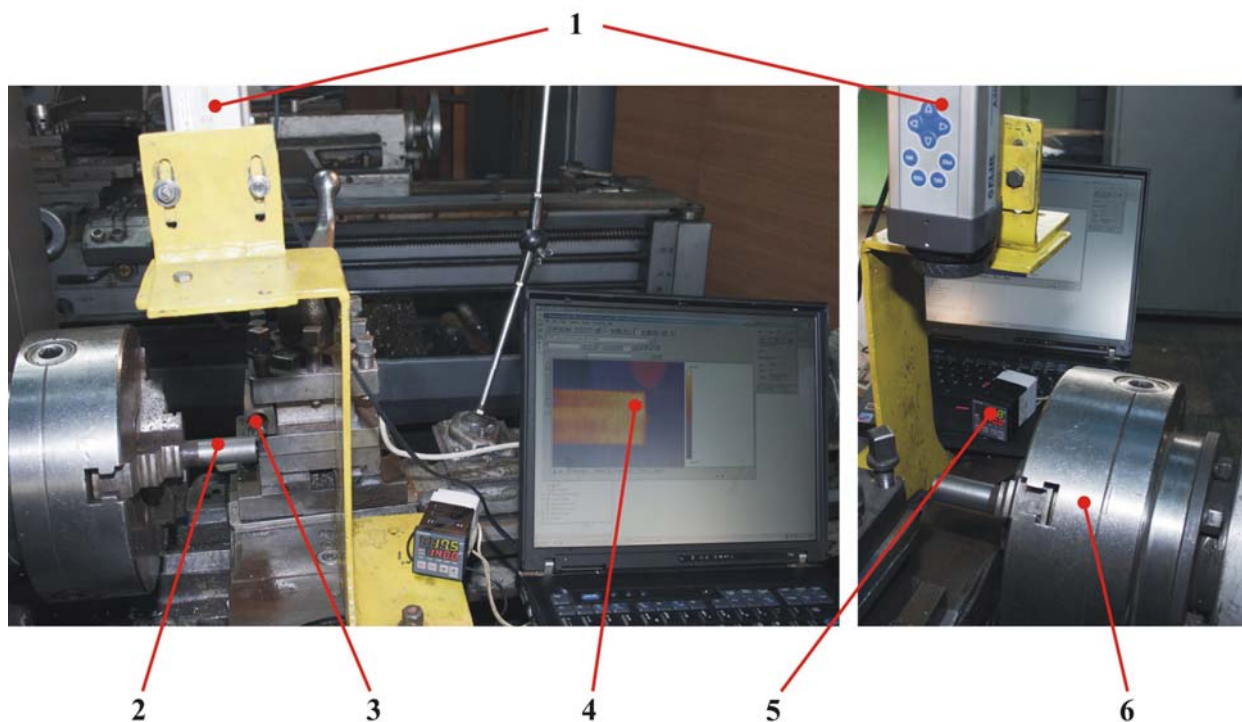


Fig. 6.3. Stand experimental pentru investigarea fenomenelor de transfer termic la strunjirea cu burghie elicoidale

Camera termografică ThermoVision A20M de la Flir Systems s-a conectat la un terminal de calcul portabil, fiind setate cele mai importante caracteristici de lucru: emisivitate, temperatura

reflectată, temperatura mediului ambiant, umiditatea relativă a aerului, distanţa de la obiectivul camerei la zona de contact dintre scula aşchietoare şi materialul de prelucrat.

Epruvetele au fost confecţionate din OL37, respectiv, 18MnCr11, strunjite în prealabil până la un diametru de Ø20 mm. Înaintea prelucrărilor propriu-zise, cu ajutorul unor burghie similare celor utilizate în experiment, s-a realizat eboşarea epruvetelor, pentru ca, la înregistrarea temperaturii în timpul prelucrării, tăşurile celor două scule aşchietoare să fie în contact cu semifabricatul pe toată lungimea acestora, figura 6.4.

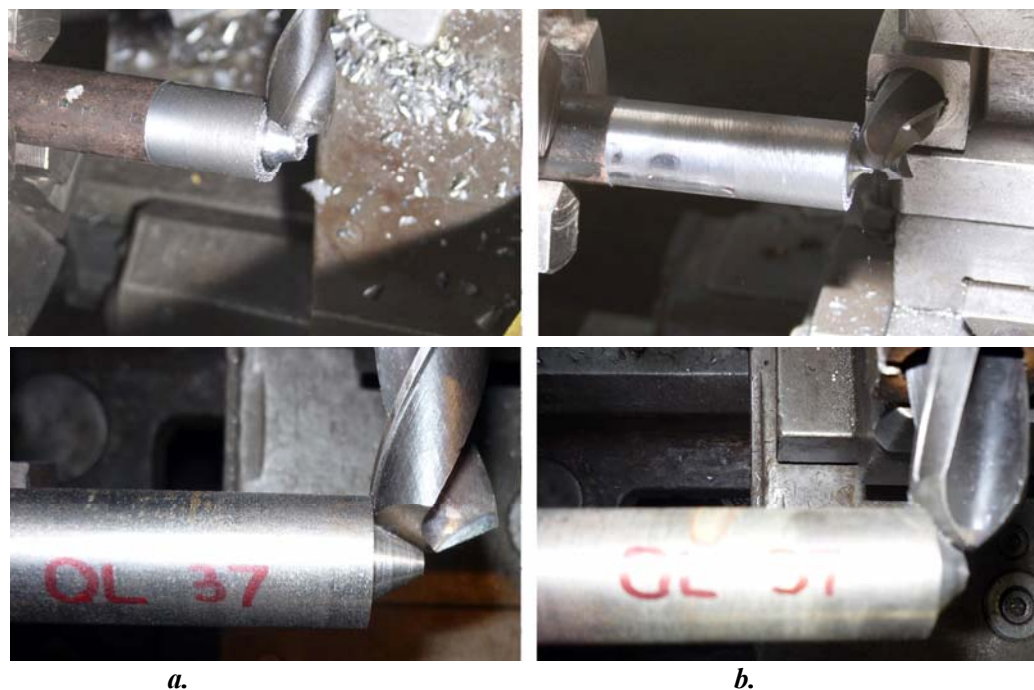


Fig. 6.4. Prelucrarea primară a epruvetelor prin strunjirea cu burghiul cu tăiş rectiliniu (a), respectiv, cu burghiul cu tăiş curb (b)

Metodologia de cercetare

Particularitatea metodei constă în faptul că, nu se realizează o burghiere propriu-zisă, burghierea fiind o aşchiere „închisă” şi, prin urmare, posibilităţile măsurării temperaturii cu o cameră de termoviziune ar fi fost practic anulate. S-a optat, aşadar, pentru o simulare a procesului de burghiere printr-o strunjire transversală, utilizând semifabricate a căror generatoare axială este în contact cu toată lungimea tăşurilor celor două burghie elicoidale experimentate, vezi figura 6.4 şi care au diametrele identice cu al sculelor aşchietoare din experiment - Ø20 mm. S-au folosit epruvete cu acelaşi diametru, din două materiale diferite, OL37 şi 18MnCr11, variindu-se turaţia, respectiv, avansul de lucru. În tabelul 6.1, sunt prezentaţi parametrii de proces ai experimentului.

Tabelul 6.1. Caracteristicile parametrilor de proces

Parametri	Burghiu cu două tăşuri rectilinii							
	s_t [mm/rot]	0,1	0,139	0,1	0,139	0,1	0,139	0,1
n [rot/min]	31,5	31,5	63	63	80	80	125	125
v [m/min]	1,98	1,98	3,96	3,96	5,03	5,03	7,85	7,85
	Burghiu cu trei tăşuri curbilunii							
s_t [mm/rot]	0,1	0,139	0,1	0,139	0,1	0,139	0,1	0,139
n [rot/min]	31,5	31,5	63	63	80	80	125	125
v [m/min]	1,98	1,98	3,96	3,96	5,03	5,03	7,85	7,85

Strunjirea cu ajutorul burghiilor s-a realizat utilizând avansul transversal al strungului. Măsurarea temperaturilor înregistrate la interfaţa tăiş burghiu-material de aşchiat s-a făcut prin utilizarea tehnicii de termografiere în infraroşu, deoarece s-a plecat de la premiza că un proces

tehnic, care implică o transformare energetică în căldură sau care consumă sau generează căldură, poate face obiectul unui studiu termografic.

Prin intermediul software-ului ThermoCAM Researcher Professional se face analiza numerică a temperaturilor şi a informaţiilor statistice din imagini pe baza măsurătorilor relative (rezultatul este o diferenţă de temperatură), prin utilizarea de markere (linii de evoluţie) pe imaginea în infraroşu, care evidenţiază zonele în care radiaţiile obiectului sunt egale. Pentru marker-ele liniare alese, s-a măsurat temperatura minimă, temperatura maximă, abaterea medie şi standard de-a lungul unei linii drepte în cadrul imaginii. În prezentul studiu, s-a optat pentru trasarea de linii de evoluţie (L01, L02, ..., L05), figura 6.5, valoarea înregistrată fiind temperatura maximă. Opţiunea se justifică prin faptul că, nu se cunoaşte cu exactitate unde se înregistrează temperatura maximă, pe tăişul burghiului sau pe epruveta de prelucrat, dar se poate determina o valoare maximă a temperaturii la contactul dintre sculă şi materialul epruvetei, pe această linie de tendinţă.

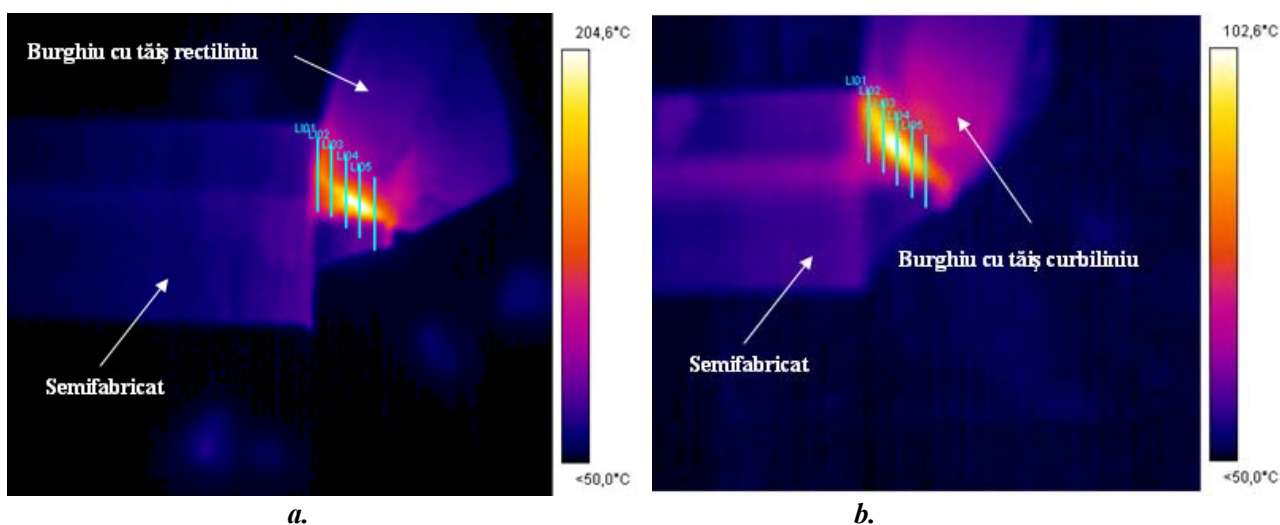


Fig. 6.5. Linii de evoluţie pentru înregistrarea temperaturii la burghiul cu tăiş rectiliniu (a), respectiv, la burghiul cu tăiş curbiliniu (b)

6.2.2. Rezultate obţinute şi interpretarea măsurătorilor

În urma prelucrărilor prin strunjire a epruvetelor din cele două materiale - OL37 şi 18MnCr11, utilizând drept scule aşchietoare un burghiul elicoidal cu două tăişuri drepte şi un burghiul elicoidal cu trei tăişuri curbe, în condiţiile variaţiei mărimilor parametrilor regimului de aşchiere, se prezintă, exemplificativ, în figurile 6.6 şi 6.7, modul în care are loc distribuţia temperaturii în lungul celor două tipuri de muchii de aşchiere ale burghiilor elicoidale luate în discuţie.

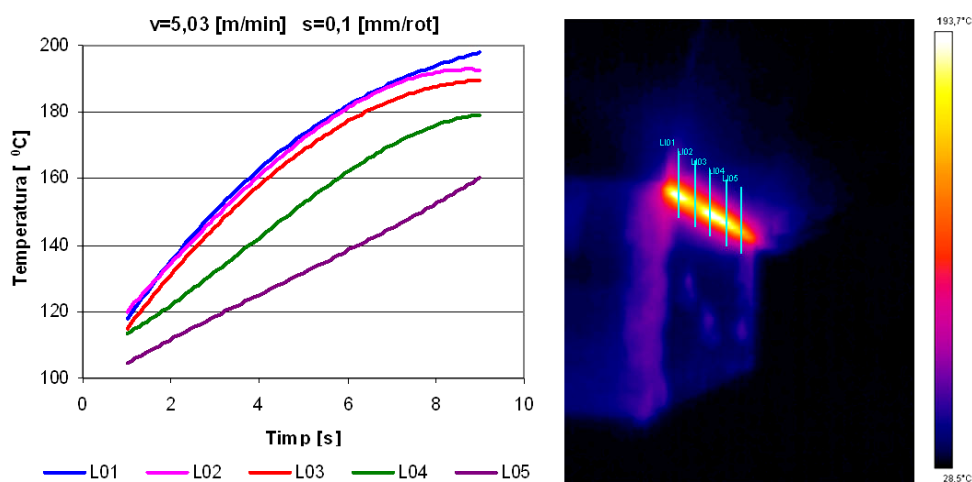


Fig. 6.6. Variaţia temperaturii pe cele 5 linii de evoluţie la un moment de timp dat, la prelucrarea epruvetei din OL37 cu burghiul cu tăişuri rectilinii, $v = 5,03 \text{ m/min}$; $s = 0,1 \text{ mm/rot}$

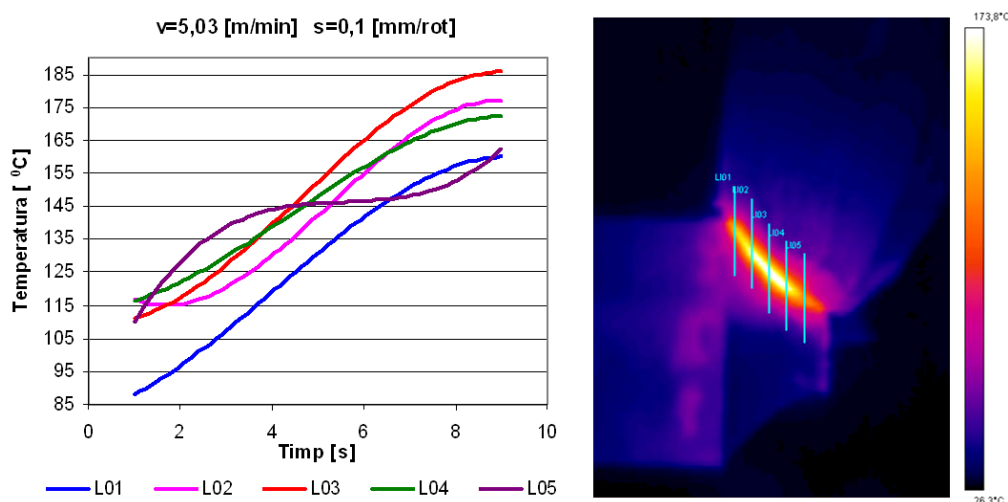


Fig. 6.7. Variația temperaturii pe cele 5 linii de evoluție la un moment de timp dat, la prelucrarea epruvetei din OL37 cu burghiul cu tăişuri curbilinii, $v = 5,03$ m/min; $s = 0,1$ mm/rot

Concluzii:

- Prin termografieri, se poate evidenția variația temperaturii în lungul muchiei de aşchiere, în schema de simulare utilizată;
- Pentru burghiile cu tăişuri rectilinii, temperatura crește progresiv de la miezul burghiului către periferie, datorată faptului că grosimea aşchiei este constantă, precum și datorită faptului că viteza de aşchiere este variabilă (încărcare energetică unitară variabilă);
- Creșterea grosimii aşchiei (mărirea avansului) are ca efect creșterea temperaturii în toate punctele de pe tăiş;
- Creșterea mărimii vitezei de aşchiere, prin creșterea turației semifabricatului, evidențiază faptul că temperatura de aşchiere se mărește în toate punctele tăişului;
- Pentru burghiile cu tăişuri curbe, se evidențiază diminuarea temperaturii din zona periferică a tăişului, aceasta fiind datorată diminuării substanțiale a grosimii aşchiei în această zonă;
- Se poate evidenția o micșorare a diferenței între temperaturile punctelor de la vârful și periferia burghiului la burghiile cu tăiş curbiliniu ca urmare a tendinței de uniformizare a încărcării energetice unitare, în lungul muchiei de aşchiere a burghiului;

Prin experimentele realizate, s-a evidențiat faptul că, la burghiile cu tăişuri curbe cu unghi de atac variabil și, deci, cu grosimea aşchiei detașate variabilă în lungul muchiei de aşchiere, temperatura punctelor de pe tăiş din zona periferică a muchiei de aşchiere se diminuează în comparație cu burghiile standard și, ca urmare, este posibil ca uzura burghiului, în această zonă, să fie mult diminuată, în comparație cu cea a burghiilor standard.

6.3. Cercetări experimentale privind mărirea forței axiale și a momentului la aşchiera cu burghie elicoidale multi-tăiş curb

Determinarea analitică sau numerică a componentelor forțelor de aşchiere cu ajutorul relațiilor de calcul este relativ aproximativă. Din acest motiv, când se dorește cunoașterea mărimii forțelor ce apar la burghiere, se face, adesea, apel la metode experimentale, bazate pe determinarea acestor forțe prin măsurarea deformațiilor elastice (unghiuri de răsucire, alungiri etc.) ale unor elemente constitutive ale dinamometrelor.

6.3.1. Descrierea echipamentului și a metodologiei de cercetare experimentală

Partea mecanică este reprezentată de mașina de găurit cu coloană 6GM-A1, pe masa acesteia fiind aşezat dinamometrul și epruvetele de prelucrat, prin intermediul dispozitivelor de prindere. În vederea stabilirii dependenței forță axială-diametrul burghiului, precum și a dependenței moment de burghiere-diametrul burghiului, s-au folosit 3 burghie elicoidale HSS cu tăişuri rectilinii (în gama de diametre $\varnothing 20$ mm, $\varnothing 18$ mm și $\varnothing 16$ mm) și 3 burghie HSS cu trei tăişuri curbilinii, în aceeași gamă

de diametre, toate burghiile fiind realizate la Fabrica de Scule Rîşnov, România. Pentru prinderea epruvetelor, s-a realizat o piesă intermediară, poziţionată pe dinamometru, figura 6.8. Epruvetele supuse prelucrării au fost confecţionate din 18MnCr11, de dimensiuni $\varnothing 50 \times 70$ mm, respectiv OL37, de dimensiuni $90 \times 50 \times 50$ mm.

Achiziţia de date

Partea de achiziţie de date cuprinde: masa tensometrică Kistler – model 9272, figura 6.9a, un amplificator electronic – model Kistler 5070Ax01xx, cabluri de legătură (Kistler 1677A5 şi 1678A5) şi computerul cu placa de achiziţie de date. Schema bloc cu părţile componente ale instalaţiei experimentale este prezentată în figura 6.9b.

În vederea măsurării forţei axiale şi a momentului de torsiune la burghiere, a achiziţionării şi procesării datelor s-a utilizat un produs soft specializat, DynoWare, al firmei Kistler.



Fig. 6.8. Rigidizare epruvetă - piesă adaptor - dinamometru

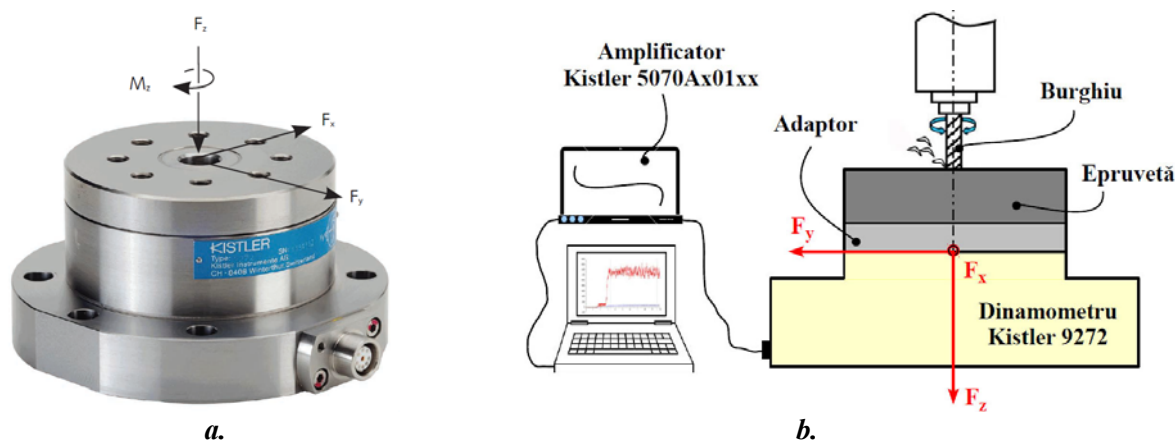


Fig. 6.9. Dinamometru Kistler 9272 (a); Schema bloc a instalaţiei experimentale (b)

Metodologia de cercetare

În epruvetele de formă paralelipipedică din OL37 şi cilindrică din 18MnCr11, s-au realizat, în prealabil, câte două găuri filetate M10 pentru a putea fi prinse pe piesa-adaptor care, la rândul ei, s-a rigidizat pe dinamometrul Kistler 9272 prin intermediul a patru şuruburi.

Forţa axială şi momentul de torsiune sunt măsurate simultan.

În paralel cu definirea parametrilor de intrare specifici dinamometrului, se precizează şi parametrii regimului de aşchiere pentru fiecare caz în parte: viteza de aşchiere (v_c), avansul (f), turaţia (n), viteza de avans (v_f), adâncimea de aşchiere (a_p).

Parametrii regimului de lucru sunt cei specificaţi în tabelul 6.2, în care s-au făcut notaţiile: BTR – burghiu cu tăşuri rectilinii; BTC – burghiu cu tăşuri curbilinii.

Tabelul 6.2. Parametrii regimului de lucru

	Viteză aşchiere (v_c) [m/min]	Viteză de avans (v_f) [mm/min]	Turaţie (n) [rot/min]	Avans (f) [mm/rot]
BTR-BTC – $\varnothing 20$	17,6	44,8	280	0,16
BTR-BTC – $\varnothing 18$	15,8	70	280	0,25
BTR-BTC – $\varnothing 16$	14,1	115	280	0,4

Pentru a evita influenţa adâncimii găurii burghiate asupra mărimii forţei axiale şi a momentului, măsurătorile au fost făcute numai pentru adâncimi ale găurii de cel mult $1,5D$, D fiind diametrul burghiului. Valorile adâncimii găurilor sunt corelate cu timpul de achiziţie (ales de 10, respectiv 7 secunde), timpul de prelucrare fiind măsurat în permanenţă cu ajutorul unui cronometru.

6.3.2. Rezultate obținute și interpretarea măsurătorilor

Pentru fiecare test, s-au achiziționat semnalele de forță axială și moment de torsiune, generate în procesul de burghiere prin intermediul dinamometrului piezoelectric de tip Kistler 9272.

Conform sistemului referință al dinamometrului, se măsoară forța din așchiere F_z , pe direcția axei Z și momentul de torsiune M_z , în jurul axei Z , figura 6.9.

În figura 6.10, se prezintă zonele de interes ale semnalului înregistrat la măsurarea forței axiale: 1 – intrare burghiu în zona pre-găurită; 2 – începutul așchierii; 3 – intrarea completă a burghiului în sarcină; 4 – zona de întrerupere a avansului și ieșirea burghiului. În figurile 6.11÷6.14, sunt reprezentate, exemplificativ, câteva profilograme, care prezintă variația mărimii forței axiale și a momentului de torsiune în timp.

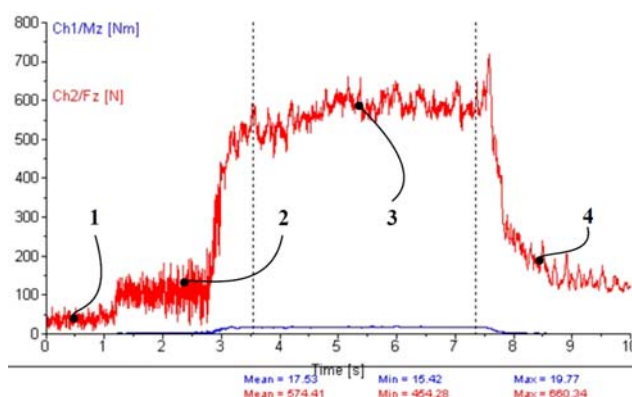


Fig. 6.10. Zonele de interes al semnalului pentru F_z

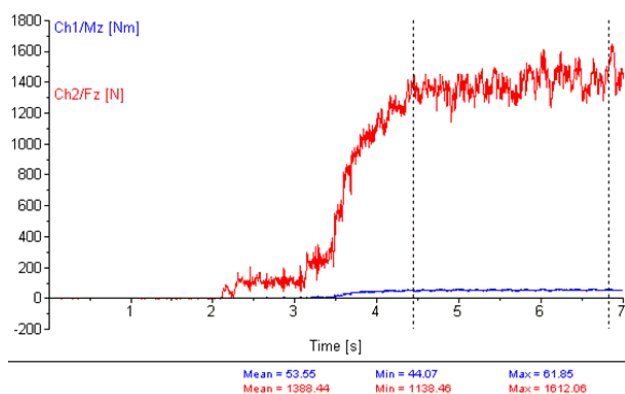


Fig. 6.11. Semnal F_z , M_z
Material: OL37, BTR Ø20, $s=0,4$ mm/rot

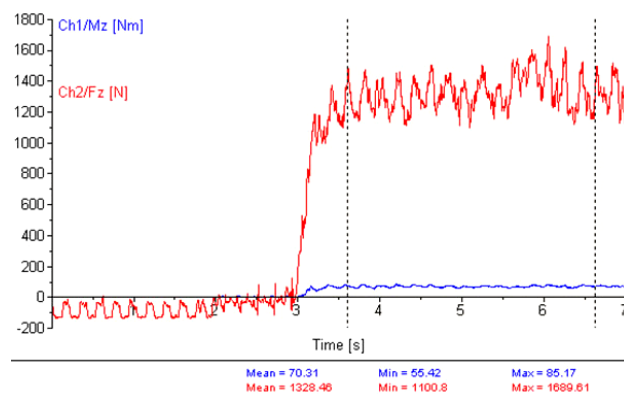


Fig. 6.12. Semnal F_z , M_z
Material: OL37, BTC Ø20, $s=0,4$ mm/rot

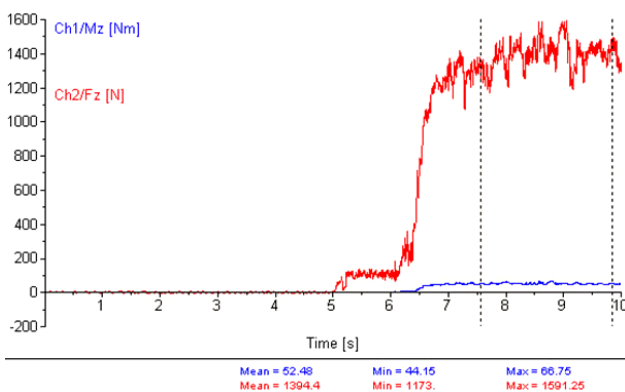


Fig. 6.13. Semnal F_z , M_z
Material: 18MnCr11, BTR Ø20, $s=0,4$ mm/rot

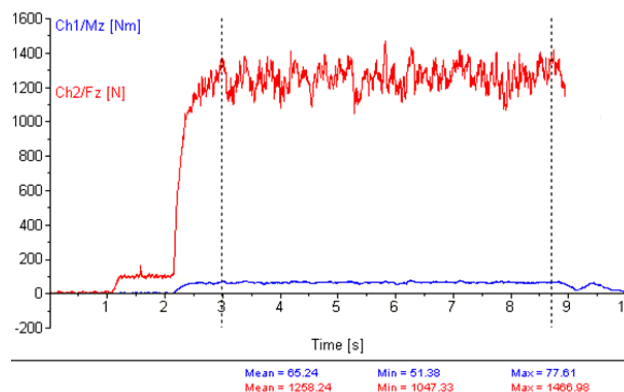


Fig. 6.14. Semnal F_z , M_z
Material: 18MnCr11, BTC Ø20, $s=0,4$ mm/rot

În tabelele 6.3÷6.6, sunt prezentate valorile medii ale mărimii forței axiale și momentului de torsiune, calculate de către soft-ul DynoWare, intervalul de selecție pentru calcul fiind considerat zona în care burghiile elicoidale lucrează în sarcină maximă, într-un interval de timp care asigură stabilitatea procesului de măsurare.

Tabelul 6.3. Valorile forţei axiale F_z [N] la prelucrarea materialului OL37

OL37	$D_{burghiu} = \varnothing 20 \text{ mm}$ s [mm/rot]			$D_{burghiu} = \varnothing 18 \text{ mm}$ s [mm/rot]			$D_{burghiu} = \varnothing 16 \text{ mm}$ s [mm/rot]		
	0,16	0,25	0,4	0,16	0,25	0,4	0,16	0,25	0,4
BTR	922,63	1108,16	1468,44	844,73	915,54	1303,43	747,13	874,41	1198,01
BTC	724,9	920,72	1228,46	635,76	807,42	1027,11	590,96	720,04	969,95

Tabelul 6.4. Valorile momentului M_z [N·m] la prelucrarea materialului OL37

OL37	$D_{burghiu} = \varnothing 20 \text{ mm}$ s [mm/rot]			$D_{burghiu} = \varnothing 18 \text{ mm}$ s [mm/rot]			$D_{burghiu} = \varnothing 16 \text{ mm}$ s [mm/rot]		
	0,16	0,25	0,4	0,16	0,25	0,4	0,16	0,25	0,4
BTR	26,27	36,22	53,55	24,06	30,87	46,57	17,53	24,15	34,95
BTC	41,81	56,31	70,31	36,69	40,7	55,87	25,84	34,17	41,35

Tabelul 6.5. Valorile forţei axiale F_z [N] la prelucrarea materialului 18MnCr11

18MnCr11	$D_{burghiu} = \varnothing 20 \text{ mm}$ s [mm/rot]			$D_{burghiu} = \varnothing 18 \text{ mm}$ s [mm/rot]			$D_{burghiu} = \varnothing 16 \text{ mm}$ s [mm/rot]		
	0,16	0,25	0,4	0,16	0,25	0,4	0,16	0,25	0,4
BTR	679,07	925,25	1244,4	653,04	882,62	1107,37	567,7	729,85	998,02
BTC	654,68	805,16	1108,24	597,52	776,11	1013,8	531,54	644,69	877,69

Tabelul 6.6. Valorile momentului M_z [N·m] la prelucrarea materialului 18MnCr11

18MnCr11	$D_{burghiu} = \varnothing 20 \text{ mm}$ s [mm/rot]			$D_{burghiu} = \varnothing 18 \text{ mm}$ s [mm/rot]			$D_{burghiu} = \varnothing 16 \text{ mm}$ s [mm/rot]		
	0,16	0,25	0,4	0,16	0,25	0,4	0,16	0,25	0,4
BTR	22,02	27,27	52,48	17,68	25,37	40,62	14,81	18,58	34,91
BTC	26,17	61,91	65,24	22,77	47,51	59,42	16,21	37,09	41,46

Pentru interpretarea statistică a rezultatelor obţinute experimental, s-a plecat de la planificarea experimentelor prin metoda planurilor ortogonale fracţionate (metoda Taguchi), cu scopul de a studia relaţiile, care apar între variabilele de intrare (geometria burghiului, diametrul acestuia, materialul de prelucrat şi avansul de lucru) şi cele de ieşire (forţa axială, F_z şi momentul de torsiune, M_z), cu ajutorul unor funcţii matematice. În acest sens, pentru analiza datelor s-au folosit instrumente de tip DOE (Design of Experiments) şi statistică generală ale unui produs software statistic, Minitab® Statistical Software [71].

Astfel, plecând de la o matrice cu trei factori şi două niveluri de forma ($2^{**1} 3^{**2}$), însumând un număr de 18 încercări pentru fiecare dintre cele două tipuri de burghie elicoidale (cu tăişuri rectilinii, respectiv, cu tăişuri curbilinii), se poate determina starea interacţiunilor dintre factorii consideraţi, în baza stărilor individuale ale nivelurilor. Scopul final este de a stabili un nivel optim pentru fiecare parametru de intrare, care să conducă la o minimizare a mărimii forţei axiale, respectiv, a momentului de torsiune la burghiere, precum şi modul în care se manifestă influenţele dintre parametri.

În figurile 6.15÷6.16, sunt prezentate efectele medii pentru forţa axială, F_z , şi momentul de torsiune, M_z , la prelucrarea cu burghie cu tăişuri rectilinii (BTR) şi curbilinii (BTC). Se observă că, atât forţa axială, F_z , cât şi momentul de torsiune, M_z , cresc odată cu creşterea avansului şi a diametrului burghiului, fiind mai mici la prelucrarea epruvetelor din 18MnCr11. În acelaşi timp, este de remarcat faptul că, valorile medii ale forţei axiale sunt mai mici la prelucrarea cu burghiile cu tăişuri curbilinii, în timp ce valorile momentului de torsiune sunt mai mari la prelucrarea cu burghiile cu tăişuri curbilinii.

În ceea ce priveşte analiza dispersională, se are în vedere analiza simultană a variabilelor independente din care sunt extrase informaţii referitoare la fiecare factor în parte, dar şi informaţii despre interacţiunea dintre aceştia, precum şi influenţa lor asupra variabilelor independente. Pentru determinarea influenţei parametrilor din procesul de burghiere şi al interacţiunilor relevante, în cazul analizei forţei F_z şi a momentului M_z , se analizează valoarea ponderii, $P\%$.

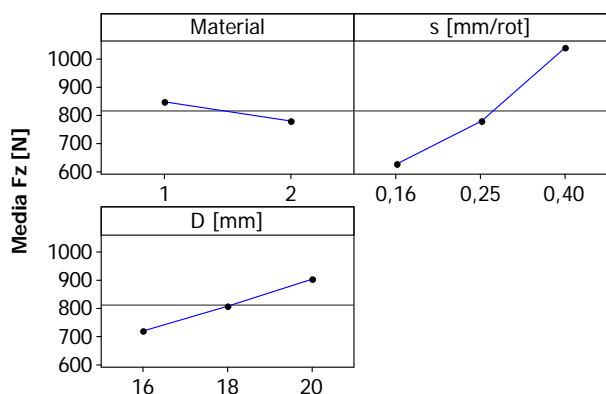


Fig. 6.15. BTC - efectele medii ale parametrilor procesului de burghiere asupra forţei F_z

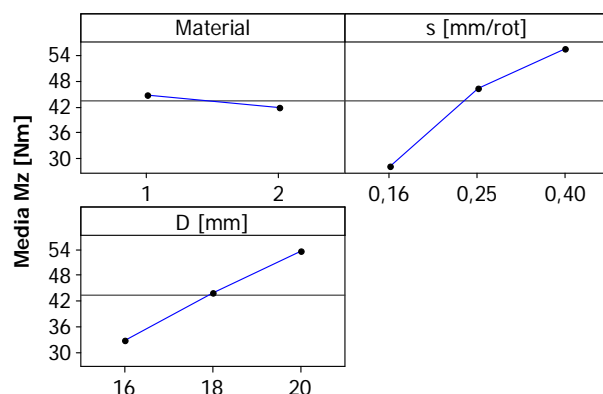


Fig. 6.16. BTC - efectele medii ale parametrilor procesului de burghiere asupra momentului M_z

Astfel, rezultă că, parametrul care are un aport semnificativ în definirea forţei axiale este avansul, s (peste 70%) materialul de prelucrat şi diametrul burghiului având aproape aceeaşi pondere. În ceea ce priveşte momentul de torsiune, acesta este influenţat şi de mărimea diametrului burghiului.

Ecuatiile obţinute prin regresie liniară pentru forţa axială, F_z şi momentul de torsiune, M_z , sunt de forma:

$$BTR: F_z = -428,963 + 2025,33 \cdot s + 51,3679 \cdot D \quad [N]; \quad (6.1)$$

$$BTR: M_z = -48,74562 + 99,1525 \cdot s + 3,03667 \cdot D \quad [N \cdot m]; \quad (6.2)$$

$$BTC: F_z = -449,9092 + 1728,52 \cdot s + 46,1371 \cdot D \quad [N]; \quad (6.3)$$

$$BTC: M_z = -78,79138 + 108,712 \cdot s + 5,23458 \cdot D \quad [N \cdot m]. \quad (6.4)$$

În figurile 6.17=6.18, se prezintă diagramele probabilităţii reziduurilor la un interval de încredere de 95%, pentru variabilele de ieşire F_z şi M_z , ca diferenţă dintre semnalul de răspuns măsurat şi răspunsul teoretic al fiecărui experiment. Din reprezentările grafice, se poate observa că, valorile forţei, F_z şi momentului, M_z , obţinute în urma măsurătorilor, se găsesc în intervalul de încredere specificat.

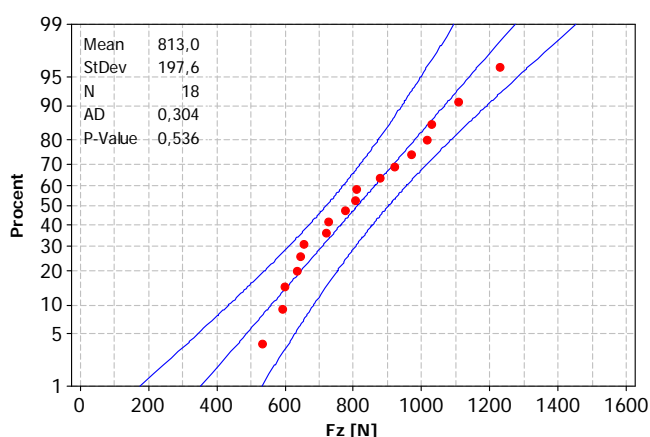


Fig. 6.17. BTC - diagrama de probabilitate a reziduurilor pentru forţa F_z

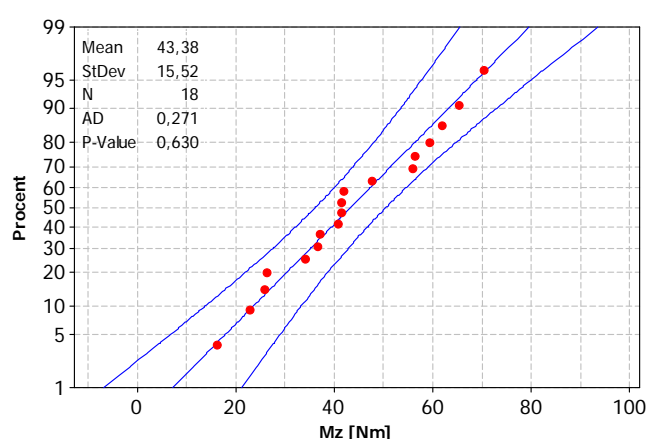


Fig. 6.18. BTC - diagrama de probabilitate a reziduurilor pentru momentul M_z

Dacă se ţine cont de modul de desfăşurare a încercărilor, rezultă că, pentru încercările la care avansul se consideră constant, relaţiile politropice de tipul (1.1) şi (1.2), vezi capitolul 1, devin:

$$F_Z = C'_{F_z} \cdot D^{x_{F_z}} \text{ [N]}; \quad (6.5)$$

$$M_Z = C'_{M_z} \cdot D^{x_{M_z}} \text{ [N} \cdot \text{m]}; \quad (6.6)$$

sau, pentru diametrul burghiului constant, relaţiile vor fi de forma:

$$F_Z = C''_{F_z} \cdot s^{y_{F_z}} \text{ [N]}; \quad (6.7)$$

$$M_Z = C''_{M_z} \cdot s^{y_{M_z}} \text{ [N} \cdot \text{m]}. \quad (6.8)$$

Prin logaritmare, relaţiile de mai sus pot fi scrise sub forma:

$$\begin{aligned} \log F_Z &= \log C'_{F_z} + x_{F_z} \cdot \log D; \\ \log M_Z &= \log C'_{M_z} + x_{M_z} \cdot \log D^{x_{M_z}}; \\ \log F_Z &= \log C''_{F_z} + y_{F_z} \cdot \log s; \\ \log M_Z &= \log C''_{M_z} + y_{M_z} \cdot \log s, \end{aligned} \quad (6.9)$$

În tabelele 6.7÷6.10, se prezintă, exemplificativ (extins, în Anexa 9), valorile exponenţilor x_{F_z} şi y_{F_z} , respectiv valoarea coeficientului C'_{F_z} , în cazul prelucrării epruvetelor din OL37 cu burghie elicoidale cu tăşuri rectilinii.

Tabelul 6.7. Calculul exponentului x_{F_z} , pentru un avans $s = 0,16$ mm/rot, la prelucrarea materialului OL37 cu burghie cu tăşuri rectilinii

s [mm/rot]	D [mm]	F_z [N]	$x = \log D$	$y = \log F_z$	xy	x^2	y^2
0,16	20	903,63	1,3010	2,9559	3,8458	1,6926	8,7378
	18	844,73	1,2552	2,9267	3,6738	1,5757	8,5656
	16	747,13	1,2041	2,8733	3,4599	1,4499	8,2564
Σx	Σy	Σxy	Σx^2	Σy^2	$(\Sigma xy)/N$	$(\Sigma x^2)/N$	x_{F_z}
3,7604	8,7561	10,9795	4,7182	25,5599	1,5727	3,6598	0,8560

Tabelul 6.8. Calculul exponentului y_{F_z} , pentru un diametru $D = 20$ mm, la prelucrarea materialului OL37 cu un burghiu cu tăşuri rectilinii

D [mm]	s [mm/rot]	F_z [N]	$x = \log s$	$y = \log F_z$	xy	x^2	y^2
20	0,16	922,63	-0,7958	2,9650	-2,3598	0,6334	8,7913
	0,25	1108,16	-0,6020	3,0446	-1,8330	0,3624	9,2696
	0,4	1468,44	-0,3979	3,1668	-1,2602	0,1583	10,028
Σx	Σy	Σxy	Σx^2	Σy^2	$(\Sigma xy)/N$	$(\Sigma x^2)/N$	y_{F_z}
-1,79588	9,1764	-5,4530	1,1542	28,0899	0,3847	-1,8176	0,5079

Tabelul 6.9. Calculul coeficientului C'_{F_z} , pentru un avans $s = 0,16$ mm/rot, la prelucrarea materialului OL37 cu burghie cu tăşuri rectilinii

D [mm]	s [mm/rot]	F_z [N]	x_{F_z}	y_{F_z}	C'_{F_z}
20	0,16	903,63	0,8560	0,5079	177,8502
18		844,73			
16		747,13			

Tabelul 6.10. Calculul coeficientului C_{F_z}'' , pentru un diametru $D = 20$ mm, la prelucrarea materialului OL37 cu burghie cu tășuri rectilinii

D [mm]	s [mm/rot]	F_z [N]	x_{F_z}	y_{F_z}	C_{F_z}''
20	0,16	922,63	0,8560	0,5079	177,5559
	0,25	1108,16			
	0,4	1468,44			

În figurile 6.19÷6.26, sunt reprezentate, variațiile forței și ale momentului în funcție de avans și diametrul burghiului, pentru burghiul cu tășuri curbilunii, la prelucrarea epruvetelor din OL37 și 18MnCr11.

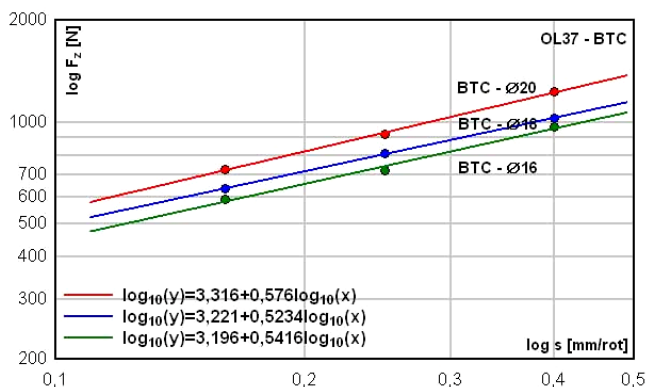


Fig. 6.19. BTC - Variația $F_z - s$, OL37

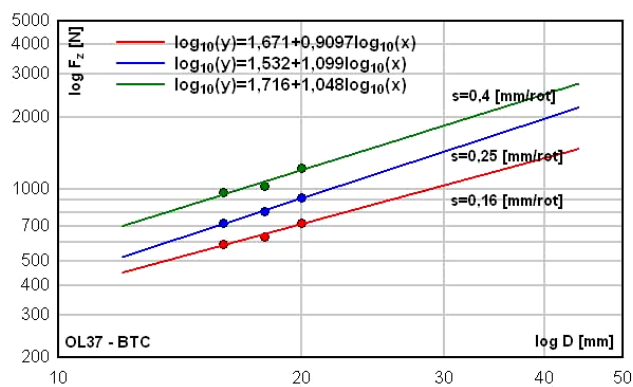


Fig. 6.20. BTC - Variația $F_z - D$, OL37

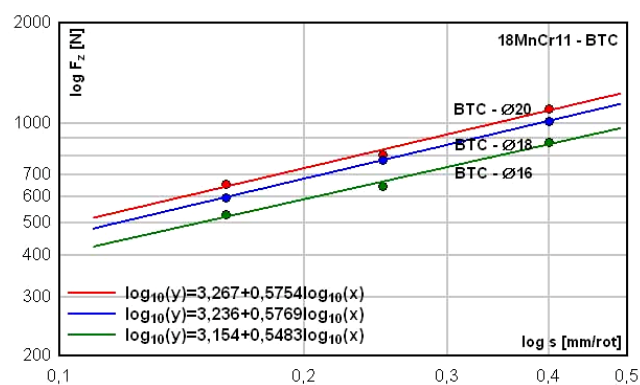


Fig. 6.21. BTC - Variația $F_z - s$, 18MnCr11

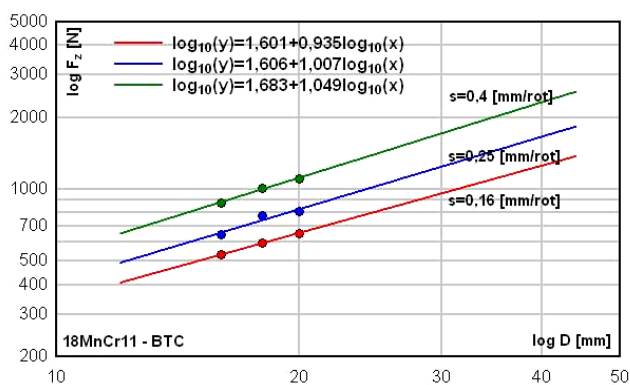


Fig. 6.22. BTC - Variația $F_z - D$, 18MnCr11

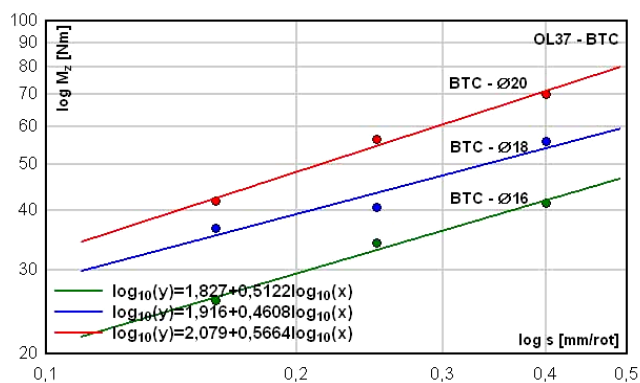


Fig. 6.23. BTC - Variația $M_z - s$, OL37

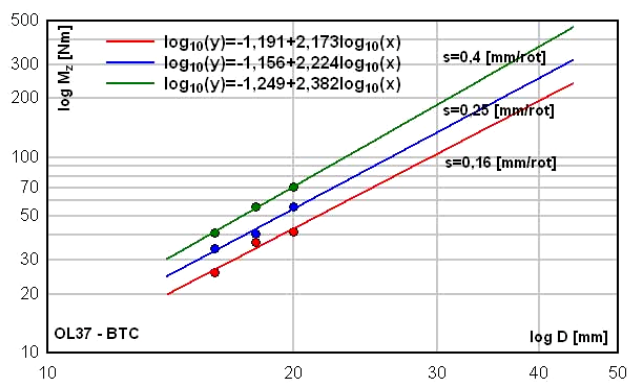


Fig. 6.24. BTC - Variația $M_z - D$, OL37

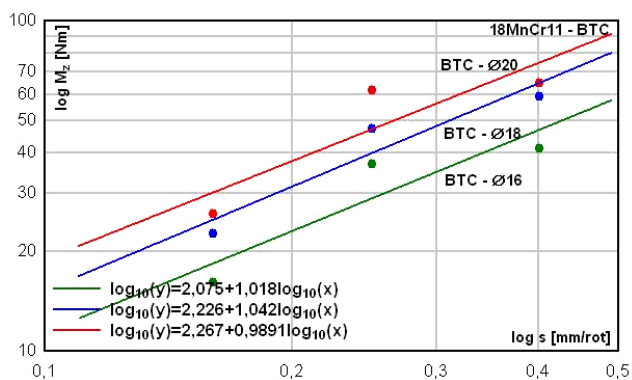


Fig. 6.25. BTC - Variația $M_z - s$, 18MnCr11

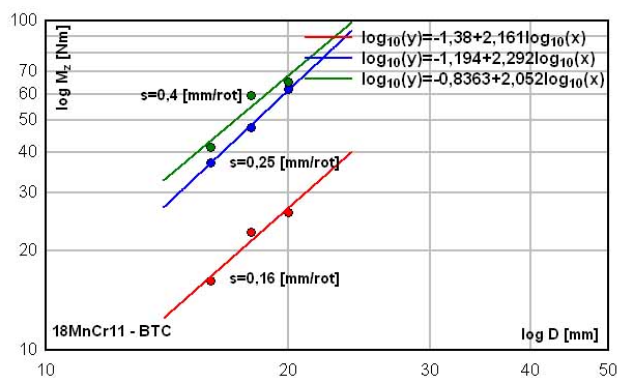


Fig. 6.26. BTC - Variația $M_z - D$, 18MnCr11

Pentru burghiile cu tășuri rectilinii (BTR) și curbilunii (BTC), în domeniul diametrelor Ø16÷Ø20 mm și a avansurilor 0,16, 0,25 și 0,4 mm/rot, la prelucrarea materialului OL37, rezultă relațiile:

BTR-OL37

$$M_z = 0,4139 \cdot D^{1,86} \cdot s^{0,75} \text{ [N} \cdot \text{m]}; \quad (6.10)$$

$$F_z = 156,96 \cdot D^{0,89} \cdot s^{0,50} \text{ [N]}; \quad (6.11)$$

BTC-OL37

$$M_z = 0,1346 \cdot D^{2,26} \cdot s^{0,51} \text{ [N} \cdot \text{m]}; \quad (6.12)$$

$$F_z = 96,94 \cdot D^{1,02} \cdot s^{0,55} \text{ [N]}; \quad (6.13)$$

BTR-18MnCr11

$$M_z = 0,5645 \cdot D^{1,78} \cdot s^{0,93} \text{ [N} \cdot \text{m]}; \quad (6.14)$$

$$F_z = 133,78 \cdot D^{0,96} \cdot s^{0,62} \text{ [N]}; \quad (6.15)$$

BTC-18MnCr11

$$M_z = 0,3037 \cdot D^{2,17} \cdot s^{1,02} \text{ [N} \cdot \text{m]}; \quad (6.16)$$

$$F_z = 94,64 \cdot D^{0,99} \cdot s^{0,57} \text{ [N]}. \quad (6.17)$$

În baza relațiilor (6.1)÷(6.4), care definesc valorile forței axiale, F_z și momentului de torsiune, M_z , pe baza ecuațiilor de regresie liniară stabilite în urma analizei varianței ANOVA și a relațiilor (6.10)÷(6.17), care definesc valorile forței axiale, F_z și momentului de torsiune, M_z , calculate pe baza coeficienților și exponenților politropici, s-a realizat o analiză comparativă cu valorile măsurate ale forței axiale și ale momentului de torsiune. Astfel, în tabelele 6.11 și 6.12, se prezintă valorile obținute pentru F_z și M_z și erorile survenite între măsurători și metodele analitice (%).

Tabelul 6.11. BTC - valori comparative ale forței F_z , la prelucrarea materialului OL37

D [mm]	s [mm/rot]	F_z măsurat [N]	F_z politropic [N]	F_z regresie [N]	% politropic	% regresie
20	0,16	724,90	752,88	749,40	3,86	3,38
20	0,25	920,72	961,05	904,96	4,38	-1,71
20	0,4	1228,46	1242,79	1164,24	1,17	-5,23
18	0,16	635,76	676,25	657,12	6,37	3,36
18	0,25	807,42	863,23	812,69	6,91	0,65
18	0,4	1027,11	1116,29	1071,97	8,68	4,37
16	0,16	590,96	599,78	564,85	1,49	-4,42
16	0,25	720,04	765,61	720,41	6,33	0,05
16	0,4	969,95	990,06	979,69	2,07	1,00

Tabelul 6.12. BTC - valori comparative ale momentului M_z , la prelucrarea materialului OL37

D [mm]	s [mm/rot]	M_z măsurat [Nm]	M_z politropic [Nm]	M_z regresie [Nm]	% politropic	% regresie
20	0,16	41,81	45,77	43,29	9,46	3,55
20	0,25	56,31	57,54	53,08	2,19	-5,74
20	0,4	70,31	73,24	69,39	4,16	-1,32
18	0,16	36,69	36,07	32,82	-1,69	-10,53
18	0,25	40,70	45,35	42,61	11,43	4,69
18	0,4	55,87	57,72	58,92	3,31	5,45
16	0,16	25,84	27,64	22,36	6,97	-13,48
16	0,25	34,17	34,75	32,14	1,71	-5,94
16	0,4	41,35	44,23	48,45	6,97	17,16

Concluzii

- Burghiile cu trei tăişuri curbilinii necesită un moment de antrenare mai mare în raport cu cel necesar burghiilor cu tăişuri rectilinii, în condiții identice de lucru, diferența crescând odată cu creșterea avansului și a diametrului burghiului.

- Este evidentă o micșorare a mărimii forței axiale, la lucrul cu burghie cu tăişuri curbe. Acest lucru poate fi pus pe seama faptului că burghiile cu tăişuri curbilinii, prin construcție, au un tăiș la vârful piramidal, diferit față de cel al burghiilor standard.

- La burghiile cu trei tăişuri curbilinii, influența diametrului de prelucrare, precum și a avansului de lucru asupra momentului de aşchiere, M_z , este mai mare decât la burghiile standard.

- Valorile forțelor și momentului calculate prin relațiile de regresie liniară conduc, în unele cazuri, la erori relativ mari, în raport cu forța și momentul măsurat.

6.4. Cercetări experimentale privind rugozitatea suprafețelor prelucrate cu burghie elicoidale multi-tăiș curb

6.4.1. Model geometric simplificat al rugozității suprafețelor obținute la prelucrarea cu burghiul cu două tăişuri rectilinii

Se acceptă aproximarea că, rugozitatea geometrică (rugozitatea de generare) este generată de muchia de aşchiere principală a burghiului și linia elicoidală a tăișului secundar, pentru două poziții succesive ale burghiului, în deplasarea acestuia în lungul axei proprii, cu o distanță egală cu avansul pe dinte. Muchia principală de aşchiere este rectilinie, figura 6.27, în timp ce muchia secundară este o elice cilindrică,

Mai mult, se consideră că, este acceptabilă aproximarea, având în vedere mărimea avansului (s_d), ca tăișul secundar să fie înlocuit cu tangenta la acesta. Astfel, pentru burghiile cu două tăişuri rezultă mărimea avansului pe dinte:

$$s_d = \frac{s}{2}, \quad (6.18)$$

în care s este mărimea avansului [mm/rot].

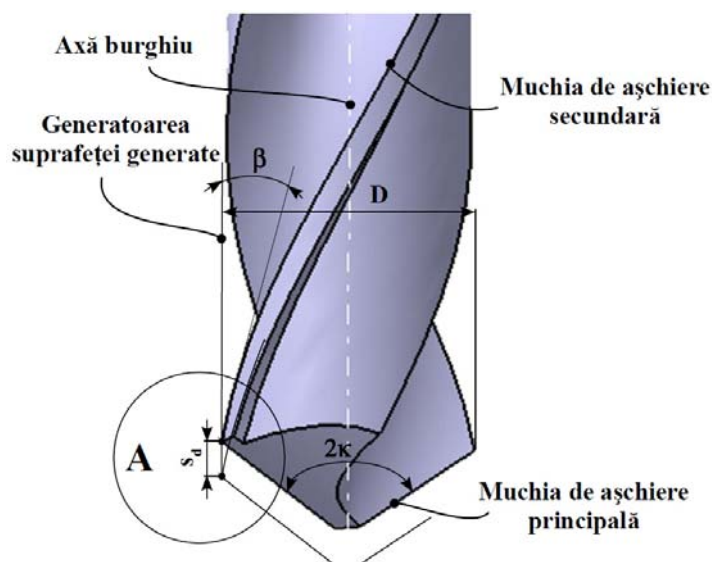


Fig. 6.27. Definirea geometrică a rugozității la burghie cu două tăişuri rectilinii

În figura 6.28a şi b, se prezintă detalii ale zonei de contact ale tăşurilor, principal şi secundar ale burghiului, detaliul A din figura 6.27.

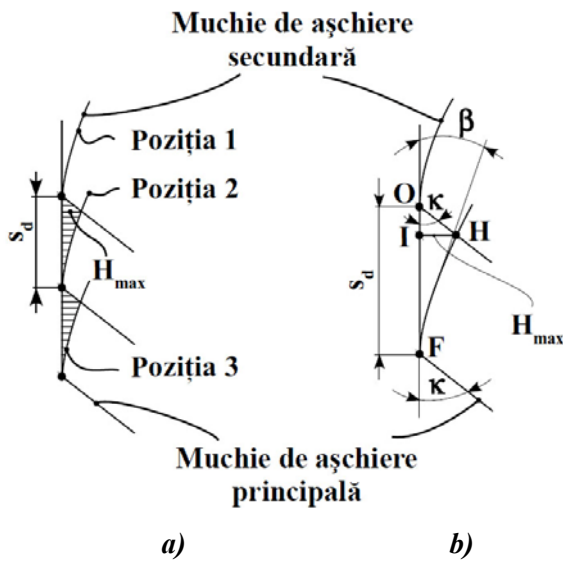


Fig. 6.28. Zona de contact a muchii de aşchiere

Se definește:

H_{\max} - mărimea maximă a modelului asperității geometrice;

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H_{\max}}{Y}; \quad \operatorname{tg} \kappa = \frac{H_{\max}}{X}, \quad (6.19)$$

Din desfășurata elicei reprezentând muchia de aşchiere secundară, este definită dependența:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi \cdot D}{2\pi \cdot p} \quad (6.20)$$

în care: β este unghiul de înclinare al elicei; D - diametrul burghiului; p - parametru elicoidal.

Mărimea maximă a asperității geometrice:

$$H_{\max} = s_d \cdot \frac{\frac{D}{2} \cdot \frac{1}{p} \cdot \operatorname{tg} \kappa}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \kappa} = s_d \cdot \frac{D \cdot \operatorname{tg} \kappa}{2p \cdot (\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \kappa)}. \quad (6.21)$$

Rezultă că:

- rugozitatea geometrică crește odată cu creșterea avansului;
- rugozitatea geometrică crește odată cu mărirea diametrului burghiului;
- rugozitatea geometrică se micșorează odată cu mărirea pasului elicoidal al elicei canalului burghiului;
- micșorarea unghiului de atac principal conduce la reducerea asperității geometrice.

6.4.2. Model geometric simplificat al rugozității suprafețelor obținute la prelucrarea cu burghiul cu trei tăşuri curbilini

Formarea asperității geometrice se acceptă a se realiza în baza aceluiași premise, ca urmare a cinematicii procesului de burghiere.

Ipoteză simplificatoare

Se propune aproximarea ca arcul de cerc AV (porțiune a tășului curbilini) să fie înlocuit cu coarda AV , figura 6.29.

Se definește ecuația dreptei AV , scrisă prin puncte, în forma:

$$\frac{Y + D/2}{D/2} = \frac{Z + R_H \cdot \sin \kappa_p}{R_H \cdot \sin \kappa_p - R_H \cdot \sin \kappa_v}. \quad (6.22)$$

Mărimea asperității geometrice este definită ca fiind triunghiulară, cu laturile AC și BC , figura 6.30.

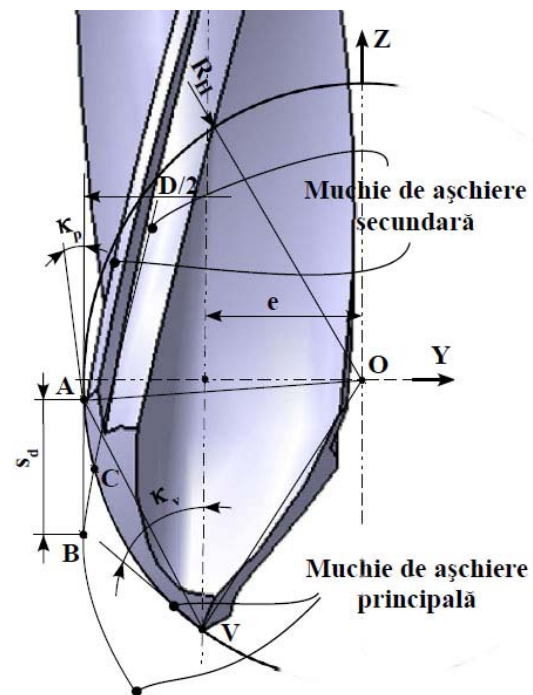


Fig. 6.29. Definierea geometrică a rugozității - burghiu cu tăș curbiliniu

În acest fel, se acceptă că dreapta (elicea este înlocuită cu tangenta la aceasta) pe care se află segmentul BC are ecuaţiile parametrice:

$$\begin{aligned} Y &= Y_B + u \cdot \sin \beta; \\ Z &= Z_B + u \cdot \cos \beta, \end{aligned} \quad (6.23)$$

în care Y_B, Z_B sunt coordonatele punctului B :

$$\begin{aligned} Y_B &= -D/2; \\ Z_B &= -R_H \cdot \sin \kappa_p - s_d. \end{aligned} \quad (6.24)$$

Din intersecţia dreptei BC cu dreapta AV , se ajunge la forma finală, cunoscută fiind forma acceptată a tăişului curbiliniu,

$$R_H \cdot u \cdot \sin \beta (\sin \kappa_v - \sin \kappa_p) = -\frac{D}{2} \cdot u \cdot \cos \beta + \frac{D}{2} \cdot s_d. \quad (6.25)$$

Înălţimea maximă a asperităţilor, poate fi adusă la forma

$$H_{\max} = \frac{s_d \cdot \sin \beta}{\sin \beta (\sin \kappa_v - \sin \kappa_p) + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \beta}}. \quad (6.26)$$

Ținând seama de (6.20), rezultă, aşadar:

$$H_{\max} = \frac{s_d \cdot \sin \beta}{\sin \beta (\sin \kappa_v - \sin \kappa_p) + p/D}. \quad (6.27)$$

Modelul geometric al înălţimii maxime a asperităţii arată că: asperitatea geometrică este dependentă de mărimea avansului, $s_d = s/3$, pentru burghiile cu trei tăişuri; mărirea pasului elicei burghiului conduce la reducerea asperităţii; asperitatea depinde de mărimea unghiurilor de atac de la periferie şi vârful burghiului.

Notă

Se poate accepta şi o altă aproximare, în care porţiunea de tăiş principal, care formează asperitatea geometrică, este înlocuită cu tangenta la aceasta. Astfel, problema se reduce la forma (6.21) în care $\kappa = \kappa_p$, deci:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{H_{\max}}{X}; \quad \operatorname{tg} \kappa_p = \frac{H_{\max}}{Y}, \quad (6.28)$$

$$s_d = X + Y = \frac{H_{\max}}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{H_{\max}}{\operatorname{tg} \kappa_p} \quad (6.29)$$

de unde, rezultă:

$$H_{\max} = \frac{s_d \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \kappa_p}{\operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \kappa_p} = \frac{s_d \cdot D/2p \cdot \operatorname{tg} \kappa_p}{D/2p + \operatorname{tg} \kappa_p} \quad (6.30)$$

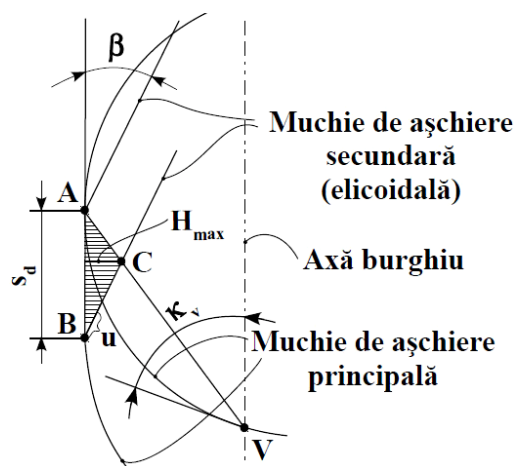


Fig. 6.30. Mărirea asperităţii la burghiul cu trei tăişuri curbe

Este evident, această expresie geometrică a mărimii maxime a rugozităţii este absolut similară, ca formă, a celei cunoscută de la strunjirea suprafeţelor [64]. Se face observaţia că, unghiul κ_p este mic, de regulă cuprins între 5° şi 12° , astfel că mărimea geometrică a asperităţii transversale este mult mai redusă decât la lucrul cu burghie standard, la care unghiul de atac, κ , este de 60° .

6.4.3. Descrierea echipamentului şi a metodologiei de cercetare experimentală

În cercetarea experimentală, s-a utilizat un set de patru burghie elicoidale din oţel rapid, Rp3, două dintre acestea fiind standard HSS, cu două tăişuri rectilinii, iar două fiind burghie cu trei tăişuri curbe, în gama de diametre $\varnothing 20$ mm şi $\varnothing 18$ mm. Pentru realizarea testelor, s-a utilizat o placă cu dimensiunile $350 \times 350 \times 50$ mm din oţel carbon de uz general, OL37, având compoziţia chimică, respectiv, proprietăţile mecanice definite conform SR EN 10025 (STAS 500/2-80), folosindu-se o maşină de găurit cu coloană, G16. Parametrii regimului de lucru, pentru placa supusă testării, au fost stabiliţi conform tabelului 6.13.

Tabelul. 6.13. Parametrii regimului de lucru

(D) [mm]	(s) [mm/rot]	(v) [m/min]	(n) [rot/min]
BTR- $\varnothing 18$	0,1; 0,16; 0,25	10,17; 25,43	180; 450
BTR- $\varnothing 20$	0,1; 0,16; 0,25	11,3; 28,26	180; 450
BTC- $\varnothing 18$	0,1; 0,16; 0,25	10,17; 25,43	180; 450
BTC- $\varnothing 20$	0,1; 0,16; 0,25	11,3; 28,26	180; 450

Astfel, placa de dimensiuni $350 \times 350 \times 50$ mm a fost prinsă pe masa maşinii prin intermediul unor bride, figura 6.31a. În timpul încercărilor, s-a urmărit menţinerea constantă a debitului lichidului de aşchiere. De asemenea, s-a avut în vedere faptul ca, lichidul de aşchiere să ude în permanenţă burghiul, figura 6.21b.



Fig. 6.31. Sistemul de prindere a plăcii (a); sistemul de răcire (b)

Adâncimea de găurire, la burghierea oţelului cu burghie de diametre $\varnothing 18$ şi $\varnothing 20$ mm, a fost limitată la valoarea de $25 \div 30$ mm ($1,5 \cdot D$), pentru a evita riscurile compactării aşchiilor în canalele burghiilor. Măsurarea parametrilor ce definesc rugozitatea s-a realizat cu un profilometrul Taylor Hobson Surtronic 3+, palpatorul acestuia având posibilitatea să se deplaseze pe o lungime de la 1 la 25 mm, figura 6.32. Măsurătorile au fost preluate cu produsul soft Talyprof (Taylor Hobson), care a permis cuantificarea mai multor parametri de bază ai suprafeţei plăcii de evaluat.



Fig. 6.32. Măsurarea rugozităţii: (1) Profilometrul Surtronic 3+; (2) Poziţionarea palpatorului

Etalonarea aparatului s-a realizat pe o probă etalon de rugozitate $R_a = 0,6 \mu\text{m}$.

Pentru fiecare alezaj prelucrat, s-au făcut măsurători de profil în 4 zone, pe o lungime de inspectare de 4 mm (l_n), pe aceeaşi generatoare, de la fundul alezajului spre zona de intrare a burghiului. Profilurile care au inclus fundul şi marginea găurii au fost eliminate din analiza datelor. Pentru fiecare profil s-au înregistrat 8000 de valori, câte două valori pentru fiecare micron parcurs.

În figura 6.33, se prezintă un exemplu de profilogramă pentru o prelucrare prin burghiere şi valorile parametrilor evaluaţi [EN ISO 4287-1997].

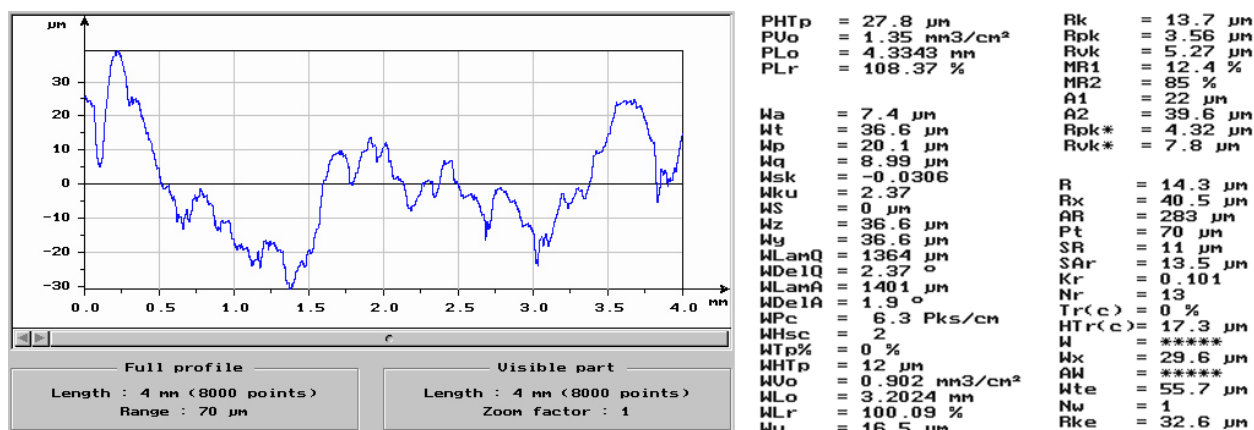


Fig. 6.33. Profilogramă şi parametri ai suprafeţii evaluate

Dintre parametrii care caracterizează micro-geometria suprafeţii după direcţia de măsurare, se iau în calcul doar parametrii de înălţime R_a şi R_q [EN ISO 4287-1997].

6.4.4. Rezultate obţinute şi interpretarea măsurătorilor

În tabelul 6.14, se regăesc valorile înregistrate pentru parametrii de rugozitate R_a şi R_q , la prelucrarea cu burghiele cu diametrul de $\varnothing 18$ mm, cu două tăişuri rectilinii, respectiv, cu trei tăişuri curbilinii, pentru $n = 180$ rot/min, respectiv $n = 450$ rot/min.

Tabelul. 6.14. Valori pentru R_a şi R_q - burghie $\varnothing 18$ mm, pentru $v=10,17$ [m/min] şi $v=25,43$ [m/min]

D [mm]	s [mm/rot]	v [m/min]	R_a [μm]	R_q [μm]	s [mm/rot]	v [m/min]	R_a [μm]	R_q [μm]
BTR- $\varnothing 18$	0,1	10,17	3,26	4,16	0,1	25,43	5,91	7,6
BTC- $\varnothing 18$	0,1	10,17	2,67	3,47	0,1	25,43	3,36	4,39
BTR- $\varnothing 18$	0,16	10,17	3,56	5,42	0,16	25,43	7,73	9,4
BTC- $\varnothing 18$	0,16	10,17	3,07	4,09	0,16	25,43	3,71	5,17
BTR- $\varnothing 18$	0,25	10,17	4,46	6,19	0,25	25,43	8,17	10
BTC- $\varnothing 18$	0,25	10,17	3,77	4,71	0,25	25,43	4,31	5,73

Similar, pentru acelaşi regim de turaţii, în tabelul 6.15 sunt definite valorile înregistrate pentru parametrii de rugozitate R_a şi R_q , la prelucrarea cu burghiele cu diametrul de $\varnothing 20$ mm.

Tabelul. 6.15. Valori pentru R_a şi R_q - burghie $\varnothing 20$ mm, pentru $v=10,17$ [m/min] şi $v=25,43$ [m/min]

D [mm]	s [mm/rot]	v [m/min]	R_a [μm]	R_q [μm]	s [mm/rot]	v [m/min]	R_a [μm]	R_q [μm]
BTR- $\varnothing 20$	0,1	11,3	4,04	4,95	0,1	28,26	5,05	6
BTC- $\varnothing 20$	0,1	11,3	3,62	4,6	0,1	28,26	3,91	5,49
BTR- $\varnothing 20$	0,16	11,3	4,31	5,5	0,16	28,26	6,01	6,91
BTC- $\varnothing 20$	0,16	11,3	3,95	4,84	0,16	28,26	4,1	5,68
BTR- $\varnothing 20$	0,25	11,3	4,67	5,83	0,25	28,26	6,82	8,4
BTC- $\varnothing 20$	0,25	11,3	4,01	5,16	0,25	28,26	4,94	6,2

În figurile 6.34 şi 6.35, sunt prezentate, comparativ, câteva profilograme şi mărimile parametrului de rugozitate (R_a).

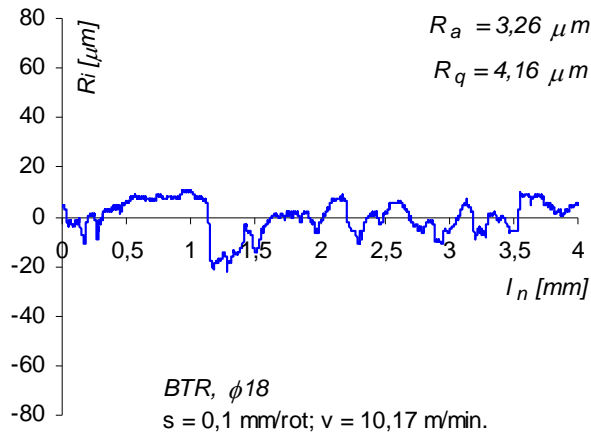


Fig. 6.34. Profilogramă, rugozitatea R_a
BTR Ø18, $s=0,1$ mm/rot, $v=10,17$ m/min

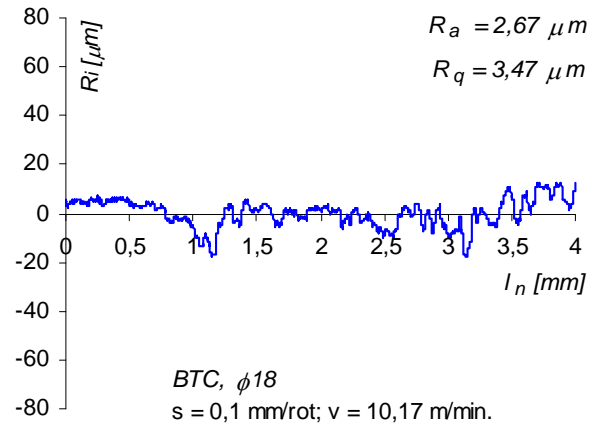


Fig. 6.35. Profilogramă, rugozitatea R_a
BTC Ø18, $s=0,1$ mm/rot, $v=10,17$ m/min

Influenţa geometriei burghiilor şi a parametrilor regimului de lucru asupra asperităţilor suprafeţelor prelucrate este prezentată în figurile 6.38÷6.41.

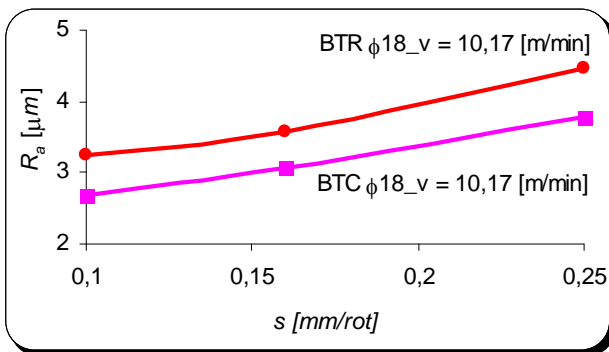


Fig. 6.38. Variaţia parametrului rugozităţii R_a ,
pentru BTR Ø18 - BTC Ø18 ($v=10,17$ m/min)

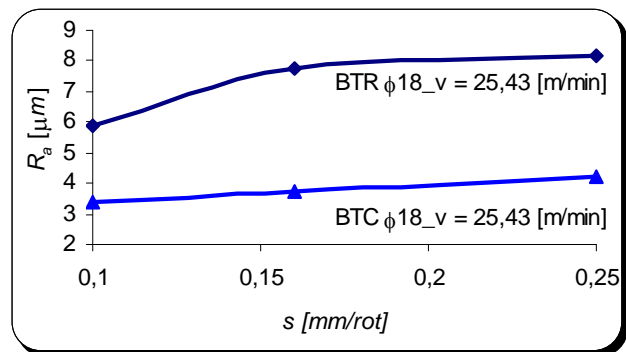


Fig. 6.39. Variaţia parametrului rugozităţii R_a ,
pentru BTR Ø18 - BTC Ø18 ($v=25,43$ m/min)

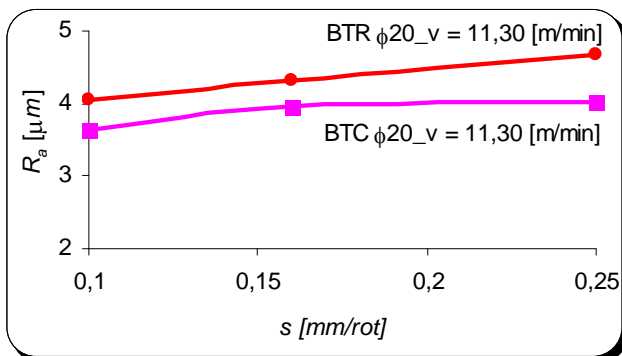


Fig. 6.40. Variaţia parametrului rugozităţii R_a , pentru
BTR Ø20 - BTC Ø20 ($v=11,30$ m/min)

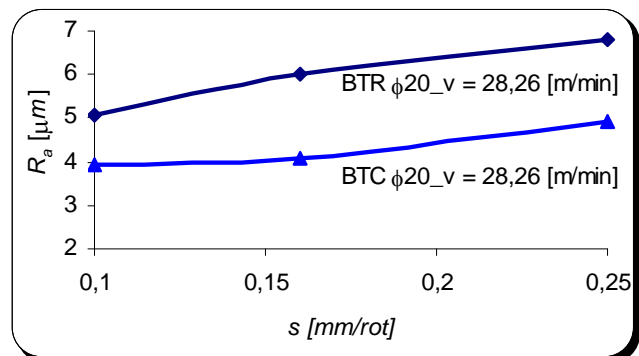


Fig. 6.41. Variaţia parametrului rugozităţii R_a , pentru
BTR Ø20 - BTC Ø20 ($v=28,26$ m/min)

Concluzii

Experimentele, realizate pentru cele două burghie cu geometrii diferite, pentru trei avansuri $s_1=0,1$ mm/rot, $s_2=0,16$ mm/rot şi $s_3=0,16$ mm/rot şi două mărimi ale turaţiei de lucru ($n_2=180$ rot/min şi $n_2=450$ rot/min), au permis evidenţierea următoarelor concluzii:

- Avansul (s) este factorul care influenţează cel mai mult rugozitatea suprafeţei, confirmând faptul că o creştere a acestuia, duce la mărirea rugozităţii suprafeţei generate, pentru ambele tipuri de geometrii ale burghiilor;

- La ambele tipuri de burghie, mărirea asperităţii suprafeţelor prelucrate creşte odată cu creşterea vitezei aşchiere.

- La lucrul cu burghiile cu tăişuri curbe, se evidenţiază o diminuare a mărimii rugozităţii, în comparaţie cu burghiile standard, explicată atât prin creşterea numărului de tăişuri, cât şi prin micşorarea unghiului de atac κ_p , de la periferia burghiului;

- Mărimea diametrului burghiului nu este un factor semnificativ, care să afecteze, din punct de vedere al unor parametri ai rugozităţii, starea suprafeţii prelucrate, pentru dimensiunile de burghie utilizate în experiment.

6.5. Cercetări experimentale privind uzura în aşchiere a burghiilor elicoidale multi-tăiş cu tăişuri curbe

S-au realizat teste privind comportarea la uzare a burghiilor cu trei tăişuri curbilinii acestora, comparativ, în aceleaşi condiţii de lucru cu burghiile standard cu două tăişuri rectilinii. Testele s-au realizat în aceleaşi condiţii de aşchiere (v , s , t), lichid de răcire, având scopul declarat de a realiza o corelaţie între încărcarea energetică unitară constantă a tăişurilor curbe şi gradul de uzură al acestora, comparativ cu al burghiilor standard.

6.5.1. Metodologia de cercetare experimentală

Echipamentul experimental

S-a utilizat un set de 8 burghie elicoidale din oţel rapid Rp3, patru dintre acestea fiind standard, HSS, cu două tăişuri rectilinii, iar alte patru fiind burghie cu trei tăişuri curbe. Sculele au fost realizate la Fabrica de Scule Rîşnov, România, în gama de diametre $\varnothing 20$ mm şi $\varnothing 16$ mm, figura 6.42. Forma constructivă a sculei disc (freză disc), pentru generarea canalelor elicoidale ale burghiilor, cu unghi de atac variabil şi tăişul principal în arc de cerc este redată în figura 6.43, iar în figura 6.44, sunt prezentate cuţitele profilate de detalonat a frezelor disc pentru prelucrarea canalelor elicoidale ale burghiilor de $\varnothing 20$, $\varnothing 18$, $\varnothing 16$ mm. Burghiile cu tăişuri curbe au fost ascuţite după o suprafaţă hiperboloidală, pe dispozitivul de ascuţit descris în capitolul 2.



Fig. 6.42. Burghie folosite la prelucrarea găurilor: cu 3 tăişuri curbilinii (a); cu 2 tăişuri rectilinii (b)



Fig. 6.43. Scula disc pentru prelucrarea canalelor elicoidale



Fig. 6.44. Cuţite profilate de detalonat

Geometria burghiilor standard, ascuţite după o suprafaţă conică, s-a realizat cu un unghi la vârf de $2\kappa=120^\circ$, iar geometria burghiilor cu tăişuri curbe, măsurată după ascuţire, a evidenţiat unghiurile de atac la vârf, respectiv, la periferie, de $\kappa_v=60^\circ$; $\kappa_p=12^\circ$.

Pentru realizarea testelor, s-au utilizat 4 plăci cu dimensiunile 350x350x50 mm din oţel carbon de uz general, OL37.

Testele au fost realizate la societatea belgiano-română SIDEM din judeţul Suceava, utilizând centrul de prelucrare CNC marca HAAS, modelul VM3, figura 6.45, cu o putere instalată de 22,4 kW şi turaţie maximă 12.000 rot/min.

Piesele de prelucrat s-au fixat în mod adecvat pe masa maşinii (1372x635x100 mm), prin utilizarea unei menghine tip Power Vise AVQ-125G.

Principalele părţi componente ale centrului de prelucrare CNC Haas-VM3 sunt: 1 este sistemul de comandă; 2 – zonă de acces la interiorul maşinii; 3 – magazie de scule; 4 – sistemul de răcire; 5 – arborele principal; 6 – ansamblul port-sculă-tiretă; 7 – masa maşinii.

Maşina are un sistem de comandă Siemens şi limbaj de programare Fanuc 16i MB. Programarea maşinii a fost realizată manual, în aşa fel încât să permită, la intervale regulate de timp, inspectarea vizuală şi măsurarea uzurii în zona periferică a tăişurilor principale.



Fig. 6.45. Centru de prelucrare CNC Haas-VM3

Metodologia de cercetare

S-a considerat originea primei găuri la o distanţă de 15 mm (pentru găurile de $\varnothing 20$ mm) faţă de colţul plăcii, respectiv 13 mm (pentru găurile de $\varnothing 16$ mm), pe direcţia axelor +X şi +Y ale maşinii CNC. Aceste date preliminare, alături de specificaţiile parametrilor regimului de aşchiere, au constituit parte din codul G, transmis maşinii CNC. Înaintea prelucrării propriu-zise, s-a utilizat un burghiu de centruire cu diametrul de $\varnothing 8$ mm în vederea realizării unei pregăuriri, figura 6.46.



a.



b.

Fig. 6.46. Faza de pregăurire - burghiu $\varnothing 8$ mm (a); găurire propriu-zisă: burghiu $\varnothing 20$ mm (b)

Codul G, în limbaj Fanuc, a fost scris pentru 2 linii de prelucrare a câte 14 găuri/linie – pentru burghiile de $\varnothing 20$ mm, respectiv 16 găuri/linie – pentru burghiile de $\varnothing 16$ mm.

După finalizarea celor 28, respectiv, 32 de găuri, s-au operat modificări în codul CNC, trecându-se la o nouă prelucrare, după translatarea celor două scule aşchietoare (centruitor şi burghiu de prelucrare) cu o valoare incrementală stabilită, pe direcţia axei X, cu valorile de 25 mm, respectiv, 21 mm. În vederea întreruperii aşchierii în timpul prelucrării şi a pătrunderii lichidului de răcire în alezaj, s-a imprimat maşinii, prin codul de comandă, o retragere periodică a burghiului după fiecare 10 mm de alezaj prelucrat (peck-drill). Adâncimea de găurire, la burghierea oţelului cu cele două tipuri burghie, a fost de 50 mm (gaură străpunsă total), fiind în conformitate cu specificaţiile producătorului care, conform DIN 341, prevede o adâncime de aşchiere $< 5 \cdot D$. Cele două tipuri de prelucrări s-au realizat utilizând o emulsie tip – STARCUT E20 (Unil Lubricants®) drept lichid de răcire.

Parametrii regimului de lucru, pentru plăcile supuse testării, au fost stabiliţi conform tabelului 6.16.

Tabelul 6.16. Parametrii regimului de lucru

	Viteză aşchiere (v) [m/min]	Turaţie (n) [rot/min]	Avans (s) [mm/rot]
BTR1-BTC1 – Ø20	28,26	450	0,16
BTR1-BTC3 – Ø20	32	510	0,16
BTR1-BTC3 – Ø16	25,12	500	0,1
BTR2-BTC2 – Ø16	40	796	0,1

Măsurarea uzurii tăişurilor burghiilor elicoidale

Criteriul de uzare utilizat a fost criteriul V_B .

Pentru înregistrarea uzurii, s-a folosit un stereomicroscop Olympus, model SZX 10, cu mai multe obiective şi un zoom optic maxim de 126x, având ataşată o cameră Olympus E330 Digital SLR. Imaginile au fost captate şi înregistrate cu software-ul AnalySIS FIVE, fiecare imagine având ataşată o scară grafică de 1mm, 2mm sau 5mm. Măsurarea efectivă a uzurii a fost realizată cu ajutorul produsului soft Digimizer, versiunea 4.1. Imaginea conţine o riglă gradată utilizată pentru etalonarea măsurătorilor, softul Digimizer permiţând alegerea valorii reale şi a unităţii de măsură înscrise pe gradaţie, figura 6.47.

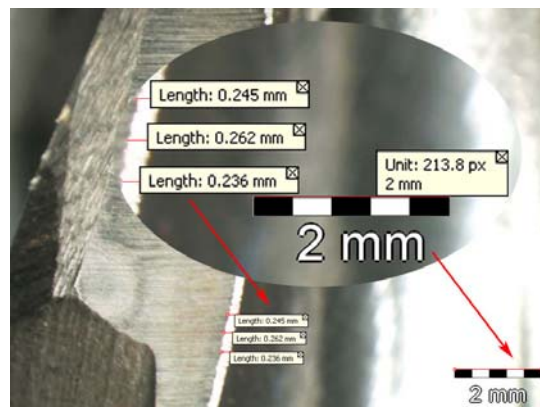


Fig. 6.47. Măsurarea uzurii cu Digimizer

6.5.2. Rezultate obținute și interpretarea măsurătorilor

Testele de uzură realizate au avut ca scop evidențierea modului specific de uzare al burghiului, datorită noii forme a tăişului principal a burghiilor cu tăişuri curbe ascuțite după procedeul hiperboloidal. Măsurătorile au fost efectuate la un interval de eşantionare de 28 de alezaje prelucrate cu burghiile cu diametrul Ø20mm, respectiv, 32 de găuri pentru cele cu diametrul de Ø16mm, conform unui ciclu de lucru comandat prin programul CNC. Uzura burghiilor pe fața de aşezare, criteriul V_B , constituie un criteriu tehnologic și, din acest punct de vedere, vor fi comparate cele două geometrii ale burghiilor – burghiul cu tăişuri rectilinii și burghiul cu trei tăişuri curbilinii.

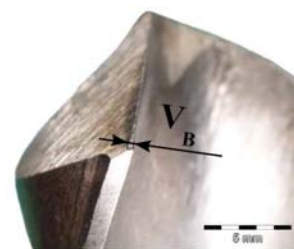
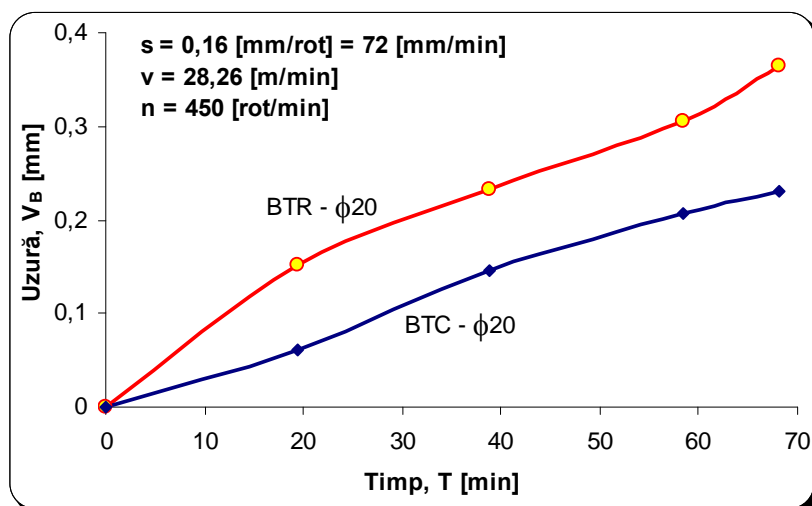
În tabelele 6.17÷6.20 și figurile 6.48÷6.51, sunt prezentate dependențele uzură-lungime de prelucrare, la aşchiere cu burghie standard și cu trei tăişuri curbe a oțelului OL37.

Tabelul 6.17. Valorile uzurii radiale V_B la prelucrarea cu burghie Ø20 mm

Lungime prelucrare / Timp de bază	$s = 0,16 \text{ mm/rot} = 72 \text{ mm/min}; v = 28,26 \text{ m/min}; n = 450 \text{ rot/min}$				
	BTR1_Ø20		BTR1_Ø20		
	V_B [mm] T1	V_B [mm] T1	V_B [mm] T1	V_B [mm] T1	V_B [mm] T1
1400 mm / 19,44 min	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141
2800 mm / 38,88 min	0,197	0,197	0,197	0,197	0,197
4200 mm / 58,33 min	0,275	0,275	0,275	0,275	0,275
4900 mm / 68,05 min	0,365	0,365	0,365	0,365	0,365

Tabelul 6.18. Valorile uzurii radiale V_B la prelucrarea cu burghie Ø20 mm

Lungime prelucrare / Timp de bază	$s = 0,16 \text{ mm/rot} = 81 \text{ mm/min}; v = 32 \text{ m/min}; n = 510 \text{ rot/min}$				
	BTR2_Ø20		BTC2_Ø20		
	V_B [mm] T1	V_B [mm] T2	V_B [mm] T1	V_B [mm] T2	V_B [mm] T3
1400 mm / 17,15 min	0,274	0,295	0,091	0,108	0,088
2800 mm / 34,31 min	0,397	0,411	0,160	0,146	0,151
4200 mm / 51,47 min	0,505	0,489	0,215	0,201	0,204
4900 mm / 60,04 min	0,558	0,521	0,227	0,234	0,219

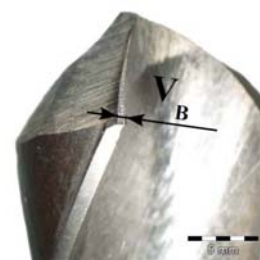
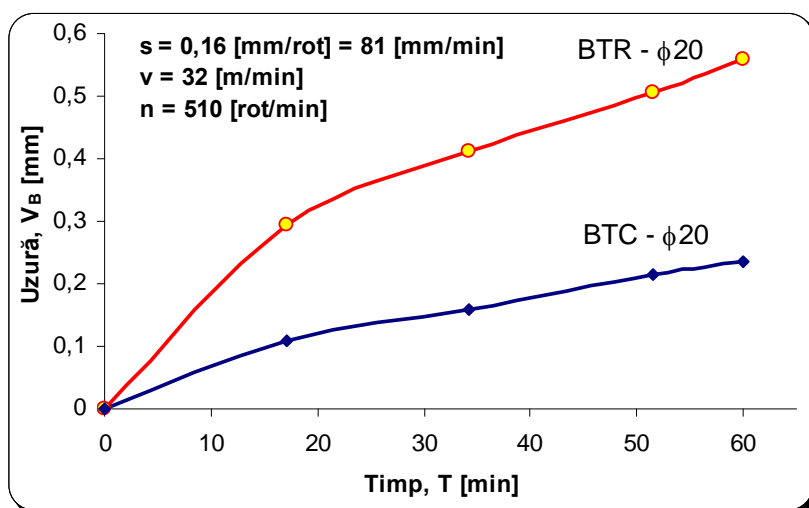


BTR1_Ø20

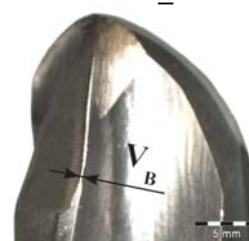


BTC1_Ø20

Fig. 6.48. Evoluţia uzurii în raport cu timpul de bază – diametre burghie $\phi 20$ mm; zoom optic 8x; 6,3x; $s = 0,16$ mm/rot = 72 mm/min; $v = 28,26$ m/min; $n = 450$ rot/min



BTR2_Ø20

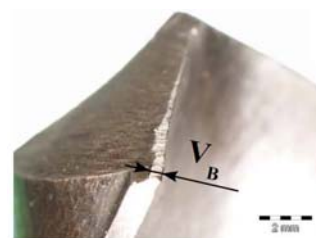
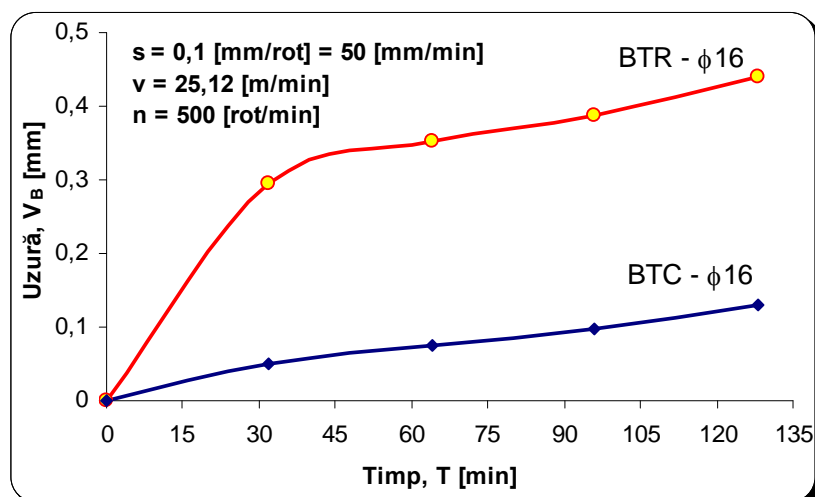


BTC2_Ø20

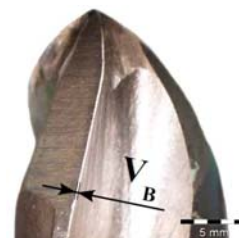
Fig. 6.49. Evoluţia uzurii în raport cu timpul de bază – diametre burghie $\phi 20$ mm; zoom optic 6,3x; $s = 0,16$ mm/rot = 81 mm/min; $v = 32$ m/min; $n = 510$ rot/min

Tabelul 6.19. Valorile uzurii radiale V_B la prelucrarea cu burghie $\phi 16$ mm

Lungime prelucrare / Timp de bază	$s = 0,1$ mm/rot = 50 mm/min; $v = 25,12$ m/min; $n = 500$ rot/min				
	BTR1_Ø16		BTC1_Ø16		
	V_B [mm] T1	V_B [mm] T2	V_B [mm] T1	V_B [mm] T2	V_B [mm] T3
1600 mm / 32 min	0,274	0,296	0,048	0,051	0,041
3200 mm / 64 min	0,352	0,349	0,062	0,075	0,059
4800 mm / 96 min	0,378	0,388	0,097	0,081	0,090
6400 mm / 128 min	0,441	0,437	0,129	0,103	0,115



BTR1_Ø16

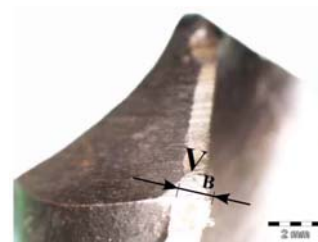
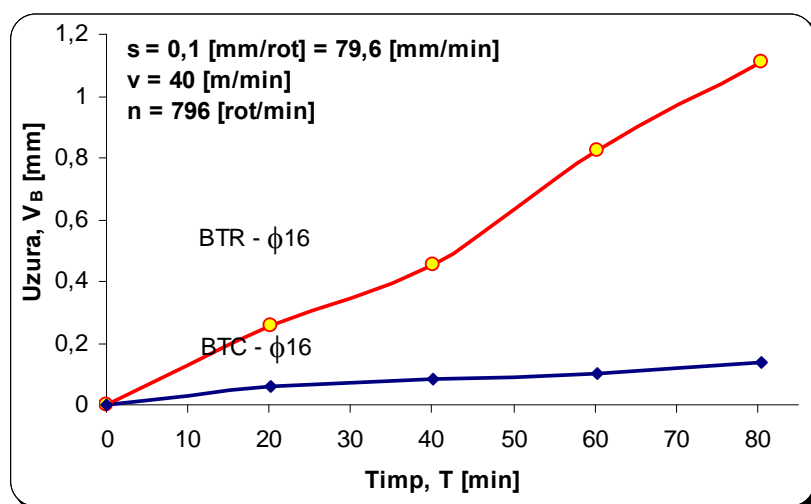


BTC1_Ø16

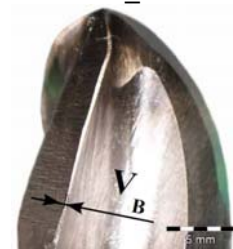
Fig. 6.50. Evoluţia uzurii în raport cu timpul de bază – diametre burghie $\phi 16$ mm; zoom optic 12,5x; 6,3x; $s = 0,1$ mm/rot = 50 mm/min; $v = 25,12$ m/min; $n = 500$ rot/min

Tabelul 6.20. Valorile uzurii radiale V_B la prelucrarea cu burghie $\phi 16$ mm

Lungime prelucrare / Timp de bază	$s = 0,1$ mm/rot = 79,6 mm/min; $v = 40$ m/min; $n = 796$ rot/min				
	BTR2_Ø16		BTC2_Ø16		
	V_B [mm], T1	V_B [mm], T2	V_B [mm], T1	V_B [mm], T2	V_B [mm], T3
1600 mm / 20,1 min	0,257	0,231	0,051	0,058	0,044
3200 mm / 40,201 min	0,454	0,440	0,084	0,078	0,080
4800 mm / 60,301 min	0,820	0,825	0,096	0,089	0,102
6400 mm / 80,402 min	1,113	1,015	0,124	0,139	0,131



BTR2_Ø16



BTC2_Ø16

Fig. 6.51. Evoluţia uzurii în raport cu timpul de bază – diametre burghie $\phi 16$ mm; zoom optic 12,5x; 6,3x; $s = 0,1$ mm/rot = 79,6 mm/min; $v = 40$ m/min; $n = 796$ rot/min

În figurile 6.52÷6.55, sunt reprezentate dependenţele durabilitate-uzură pentru un criteriu de uzură, V_B , dat.

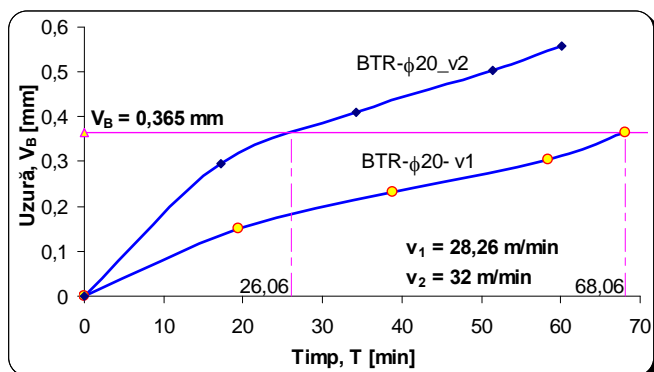


Fig. 6.52. Dependenta timp-uzură, pentru $V_B = 0,365$ mm; burghie $\phi 20$ mm, BTR

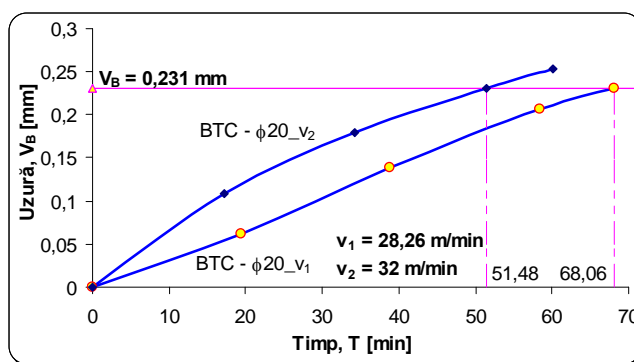


Fig. 6.53. Dependenta timp-uzură, pentru $V_B = 0,0231$ mm; burghie $\phi 20$ mm, BTC

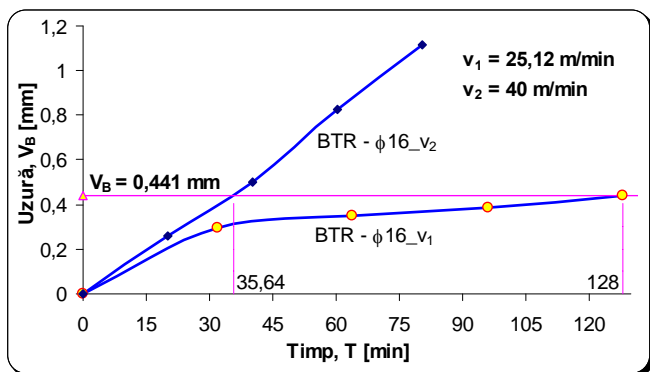


Fig. 6.54. Dependenta timp-uzură, pentru $V_B = 0,441$ mm; burghie $\phi 16$ mm, BTR

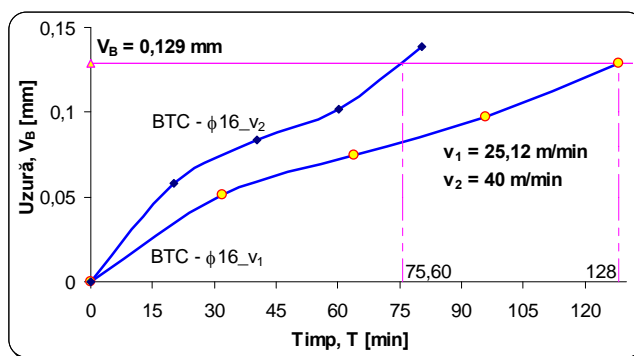


Fig. 6.55. Dependenta timp-uzură, pentru $V_B = 0,129$ mm; burghie $\phi 16$ mm, BTC

În baza tabelor 6.17÷6.20 se calculează panta dreptei în coordonate $\log v_c$, $\log T_c$ (viteză-timp), care reprezintă coeficientul k din relația Taylor, definită în standard ca ecuația durabilității, reprezentată, principal, în figurile 6.56÷6.57.

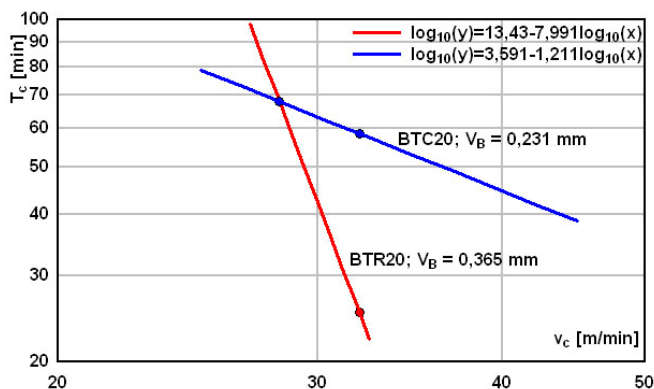


Fig. 6.56. Panta dreptelor BTR-BTC, $\phi 20$ mm

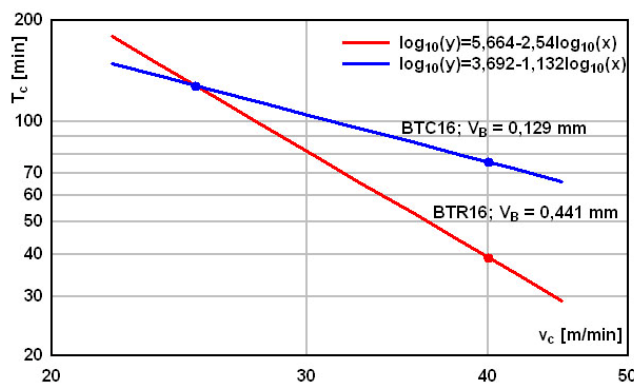


Fig. 6.57. Panta dreptelor BTR-BTC, $\phi 16$ mm

Scopul acestor teste a fost de a determina, printr-un număr suficient de mare de alezaje prelucrate, uzura tășurilor burghiilor. Criteriul duratei de viață a fost definite înainte de test - uzura flancului - stabilită la o valoare $V_{Bmax} = 0,8$ mm.

Concluzii

- Experimentele au arătat că, forma uzurii feței de aşezare în lungul tășului principal al burghiului cu tășuri curbe este uniformă în lungul acestuia, spre deosebire de cazul burghiilor clasice, la care uzura crește progresiv începând din vârful burghiului, fiind maximă la periferie;

- Din examinarea dependențelor uzură-lungime de prelucrare, este evident faptul că, durabilitatea burghiilor elicoidale cu tășuri curbe este cu mult superioară durabilității burghiilor standard pentru aceleași condiții de lucru: material prelucrat, viteza de aşchiere, mărimea avansului.

Durabilitatea mai mare a burghiilor elicoidale cu tăişuri curbe se explică prin modul specific de detaşare a aşchii de către tăişul principal al burghiului, care, la periferie, ridică o aşchie de grosime foarte mică. În funcţie de viteza de aşchiere şi dimensiunea burghiului experimental, se poate aprecia că *durabilitatea burghiilor cu tăişuri curbe este de 3 până la de 5 ori mai mare decât durabilitatea burghiilor standard* (criteriul V_B);

- Testele de uzare realizate confirmă faptul că *burghiile cu tăişuri curbe*, așa cum rezultă din legile Taylor specifice, *sunt mai puțin sensibile la variația vitezei de aşchiere* în raport cu burghiile cu tăişuri rectilinii;

- Uzarea tăişului transversal a fost nesemnificativă pentru numărul de alezaje prelucrate.

Capitolul 7

CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Analiza literaturii de specialitate în baza listei bibliografice anexate, modelele analitice originale dezvoltate în cadrul lucrării, modelarea cu elemente finite și tehnicile de inginerie inversă, programul de cercetări experimentale privind desfășurarea procesului de burghiere cu noul tip de sculă aşchietoare – burghiu elicoidal multi-tăiş curb cu muchie de aşchiere în arc de cerc, în scopul determinării comparative a capacității de aşchiere a acestei scule în raport cu burghiile elicoidale standard, au permis elaborarea următoarelor concluzii:

1. Dintre procedeele de prelucrare prin aşchiere, burghierea, ca procedeu de prelucrare din plin a alezajelor, reprezintă un proces deosebit de utilizat – circa 36% din totalul prelucrărilor prin aşchiere;

2. Literatura de specialitate arată că, burghiile elicoidale HSS trebuie studiate din mai multe puncte de vedere: modelarea geometrică a acestora, cercetarea fizică a procesului formării aşchii, durabilitatea sculei aşchietoare, mărimea forțelor și momentelor de torsiune, fenomene termice în procesul de burghiere, modelarea prin analiză FEM, sau similare, a proceselor de deformare a sculelor aşchietoare și dezvoltarea unor noi tipuri de materiale și acoperiri, în scopul ameliorării comportării în aşchiere a burghiilor;

3. Modelul analitic al încărcării energetice în lungul tăişului, elaborat în cadrul lucrării, permite evidențierea faptului că, muchiile de aşchiere cu unghi de atac variabil permit o uniformizare a încărcării energetice unitare a tăişului burghiului elicoidal;

4. Modelul analitic al suprafețelor active ale unui nou tip de burghiu elicoidal, cu trei tăişuri și muchii de aşchiere în formă de arc de cerc, descrie riguros forma geometrică a suprafeței de aşezare hiperboloidale, ca bază pentru imaginarea unui procedeu de ascuțire specific noului tip de burghiu;

5. Unghiul de aşezare în lungul muchiei de aşchiere, la noua construcție de burghiu elicoidal, variază după o lege specifică, crescător către axa burghiului, dar păstrând, totodată, valori mari în zona periferică a burghiului;

6. Mărimea detalonării suprafeței principale de aşezare hiperboloidale este corespunzătoare în secțiunile suprafeței de aşezare cu cilindri de rază variabilă, coaxiali cu burghiul;

7. Dispozitivul de ascuțire după metoda de ascuțire hiperboloidală (Brevet de invenție nr. RO 127177 A2) permite ascuțirea în condiții corespunzătoare a burghiilor elicoidale cu trei tăişuri curbe cu muchie de aşchiere în arc de cerc;

8. Suprafața de degajare a canalului elicoidal a fost împărțită în zone; zona care corespunde muchiei de aşchiere principale și zona canalului de evacuare a aşchii, pentru care au fost elaborate modele analitice specifice, care descriu riguros forma canalului elicoidal;

9. S-a verificat continuitatea profilului canalului elicoidal în vederea eliminării apariției punctelor singulare în punctele comune ale arcelor constitutive ale generatoarelor canalului;

10. Coordonatele secțiunii axiale a sculei de ordinul doi exprimate în formă numerică dovedesc continuitatea profilului acestuia și, deci, capacitatea de fi realizată fizic scula de ordinul doi pentru burghiile cu diametrul $\varnothing 16$, $\varnothing 18$, $\varnothing 20$ mm;

11. Realizarea în mediul de proiectare grafică CATIA a modelului 3D al burghiilor elicoidale a permis exportul în formatul specific .CATPart către pachetul soft de analiză cu element finit Ansys Workbench;

12. Modelele 3D ale burghiilor elicoidale s-au obţinut şi prin tehnici specifice de inginerie inversă, prin digitizare cu fascicul laser;

13. La simularea cu element finit, s-a dovedit că, deformarea totală este mai accentuată la burghiul multi-tăiş curb, o cauză ce ar putea explica acest lucru fiind scăderea grosimii miezului, prin creşterea numărului de tăşuri, implicit a numărului de canale elicoidale;

14. Momentul total este mai mare la burghiul cu tăşuri curbilinii faţă de cel cu tăşuri rectilinii, fapt ce poate fi pus pe seama lungimii mai mari a tăşurilor principale;

15. În aceleaşi condiţii de încărcare şi de lungime, burghiile cu tăşuri rectilinii au o comportare mai bună la pierderea stabilităţii elastice faţă de burghiul cu tăşuri curbilinii, dar forţa de avans (axială) este mai redusă la burghiile cu tăşuri curbilinii;

16. Simularea procesului termic cu ajutorul Ansys Workbench, în condiţiile în care s-a neglijat cantitatea de căldură preluată de aşchie, de semifabricat şi de mediul înconjurător (lipsa bilanţului termic normal la aşchiere), a arătat că:

- la burghiile cu muchie de aşchiere curbă valorile temperaturilor sunt sub nivelul celor înregistrate în cazul burghiilor cu tăşuri rectilinii, pentru aceeaşi durată de simulare a aşchierii, fapt care va da un plus de avantaj burghiilor cu tăşuri curbilinii, în ceea ce priveşte durabilitatea;

- la burghiile cu tăşuri rectilinii, s-a observat că temperatura este crescătoare în lungul muchiei de aşchiere principale, de la vârf spre periferia burghiului, această zonă fiind cea mai susceptibilă în ceea ce priveşte apariţia uzurii;

- temperatura punctelor de pe tăiş din zona periferică a muchiei de aşchiere la burghiile cu tăşuri curbilinii se diminuează în comparaţie cu burghiile standard, demonstrând o încărcare energetică unitară mai redusă a acestui tip de tăiş;

- în ambele cazuri, şi la burghiile cu tăşuri rectilinii şi la cele cu tăşuri curbilinii, odată cu creşterea avansului, are loc şi o mărire a temperaturii înregistrate, fapt similar cu ceea ce se întâmplă în, mod curent, în practică.

17. Metoda de termografiere prin termoviziune a temperaturii muchiei de aşchiere a burghiului, în condiţiile experimentului propus, permite evidenţierea cantitativă a diferenţei privind încărcarea energetică între muchia de aşchiere cu unghi de atac variabil şi cea a burghiului standard;

18. Pentru burghiile cu tăşuri rectilinii, temperatura creşte progresiv de la miezul burghiului către periferie, datorată faptului că grosimea aşchierii este constantă, precum şi datorită faptului că viteza de aşchiere este variabilă (încărcare energetică unitară variabilă);

19. Creşterea grosimii aşchierii (mărirea avansului) are ca efect creşterea temperaturii în toate punctele de pe tăiş;

20. Creşterea mărimii vitezei de aşchiere evidenţiază faptul că, temperatura de aşchiere se măreşte în toate punctele de pe tăiş;

21. Influenţa calităţii materialului burghiat asupra temperaturii în lungul muchiei de aşchiere este certificată prin înregistrarea unor valori mai mari de temperatură la prelucrarea epruvetelor din 18MnCr11, comparativ cu cele din OL37;

22. Se poate evidenţia o micşorare a diferenţei între temperaturile punctelor de la vârful şi periferia burghiului, la burghiile cu tăiş curbiliniu, ca urmare a tendinţei de uniformizare a încărcării energetice unitare în lungul muchiei de aşchiere a burghiului, în raport cu burghiile cu tăşuri rectilinii;

23. Cercetările experimentale au arătat că, la burghiile cu trei tăşuri curbilinii rezultă un moment de torsiune mai mare decât cel măsurat la burghiile standard, în aceleaşi condiţii de lucru, diferenţa crescând odată cu creşterea avansului şi a diametrului burghiului;

24. Formulele de calcul, în forma politropică de exprimare a acestora, evidenţiază faptul că, exponenţii diametrului şi ai avansului sunt mai mari la burghiile cu tăşuri curbilinii decât la burghiile standard, ca urmare a creşterii lungimii tăişului curb, în comparaţie cu cel rectiliniu;

25. Se observă o diminuare a mărimii forţei axiale, la lucrul cu burghie cu tăşuri curbe. Acest lucru poate fi pus pe seama faptului că burghiile cu tăşuri curbilinii, prin construcţie, au tăişul transversal diferit faţă de cel al burghiilor standard;

26. Avansul (s) este factorul care influenţează cel mai mult rugozitatea suprafeţei, confirmând faptul că, o creştere a acestuia, conduce la mărirea rugozităţii suprafeţei generate, pentru ambele tipuri de geometrii ale burghiilor;

27. La lucrul cu burghiele cu trei tăişuri curbe, pentru aceleaşi condiţii de lucru, se evidenţiază o diminuare a mărimii rugozităţii, care se explică prin creşterea numărului de tăişuri şi prin micşorarea unghiului de atac κ_p , de la periferia burghiului;

28. Rugozitatea suprafeţelor prelucrate creşte odată cu creşterea vitezei de aşchiere, în domeniul de viteze de aşchiere utilizat în experiment, ca urmare a influenţei asupra suprafeţei generate de aşchia evacuată din alezaj şi a formării depunerii pe tăiş;

29. Din examinarea dependenţelor uzură-lungime de prelucrare (criteriul V_B), este evident faptul că, durabilitatea burghiilor elicoidale cu tăişuri curbe este cu mult superioară durabilităţii burghiilor standard, pentru aceleaşi condiţii de lucru: material prelucrat, viteza de aşchiere, mărirea avansului. Durabilitatea mai mare a burghiilor elicoidale cu tăişuri curbe se explică prin modul specific de detaşare a aşchiei de către tăişul principal al burghiului care, la periferie, ridică o aşchie de grosime foarte mică;

CONTRIBUŢII PERSONALE

Activitatea realizată în cadrul tezei de doctorat, precum şi rezultatele cercetărilor proprii - publicate sau prezentate în cadrul unor manifestări ştiinţifice, permit enunţarea următoarelor contribuţii personale în problematica dezvoltată în cadrul tezei de doctorat.

1. Sinteza unui nou model privind încărcarea energetică a tăişului burghiului elicoidal şi elaborarea unui concept al muchiei de aşchiere în arc de cerc, cu unghi de atac variabil, cu scopul realizării unei încărcări energetice unitare, variabile în lungul muchiei de aşchiere;

2. Sinteza unei noi construcţii a burghiului elicoidal cu trei tăişuri în arc de cerc, prin care se diminuează încărcarea ce revine fiecărui dinte al sculei şi, totodată, se uniformizează încărcarea energetică unitară în lungul tăişului;

3. Conceperea unui procedeu de ascuţire specific – procedeu de ascuţire hiperboloidal, procedeu cu o cinematică simplă şi care permite realizarea suprafeţelor principale de aşezare ale burghiului multi-tăiş curb;

4. Imaginarea unui model analitic pentru analiza formei suprafeţei principale de aşezare a burghiului, model care a permis studiul legii de variaţie a unghiului de aşezare în lungul tăişului principal; detalonarea suprafeţei de aşezare principală; legea de variaţie a unghiului de degajare în lungul tăişului şi forma tăişului piramidal;

5. Conceperea unui dispozitiv de ascuţire în baza metodei hiperboloidale anterior analizate, pentru care s-a obţinut brevetul de invenţie nr. RO 127177 A2, în România;

6. Elaborarea unui model analitic al canalului burghiului cu trei tăişuri curbilini în arc de cerc, cu scopul profilării sculei de ordinul 2 – scula disc pentru frezarea canalului elicoidal al burghiului;

7. Sinteza unui model generalizat pentru studiul geometriei suprafeţei de aşezare de tip cuadrică a burghiului elicoidal multi-tăiş curb;

8. Elaborarea unui algoritm dedicat, în baza teoremei înfăşurării suprafeţelor Nikolaev pentru profilarea sculei disc mărginită de o suprafaţă de revoluţie, reciproc înfăşurătoare suprafeţei elicoidale a canalului. S-au elaborat programe de calcul în Matlab în baza acestui algoritm;

9. De asemenea, s-a elaborat o metodă de profilare a sculei disc pentru generarea canalului elicoidal dezvoltată în mediul de proiectare grafică CATIA, ca metodă de comparaţie cu metoda analitică, anterior dezvoltată;

10. În baza acestor metode, s-au obţinut profilurile şabloanelor de control ale sculelor disc, în baza cărora s-a realizat profilarea sculelor pentru detalonarea acestora;

11. În vederea simulării cu elemente finite a proceselor de deformare elastică a noului tip de burghiu în procesul de aşchiere, s-au realizat modelări solide ale noului tip de burghiu în mediul de proiectare grafică CATIA şi, de asemenea, utilizând tehnici de inginerie inversă;

12. S-a realizat o analiză statică liniară privind influenţa unor parametri ce intervin în procesul de burghiere, prin simulare virtuală cu ajutorul elementelor finite;
13. Analiza cu elemente finite a fenomenelor termice tranzitorii în lungul tăişului principal al burghiului elicoidal multi-tăiş curb;
14. Imaginarea unui model analitic pentru stabilirea mărimii asperităţii geometrice la burghierea cu muchii de aşchiere cu unghi de atac variabil;
15. S-a proiectat un program experimental de studiu a capacităţii de aşchiere a noului tip de sculă – burghiul elicoidal cu trei tăşuri curbilinii, în comparaţie cu burghiile standard privind:
 - încărcarea energetică efectivă a tăşurilor burghiilor utilizând metode de termografie prin termoviziune;
 - determinarea mărimii forţelor şi a momentului de aşchiere, la burghierea unor oţeluri;
 - determinarea dependenţei uzură-timp, pentru diferite condiţii de lucru: viteză de aşchiere şi avans;
 - determinarea mărimii asperităţii suprafeţei generate la lucru cu burghiul cu unghi de atac variabil.
16. Elaborarea unor programe dedicate, originale, pentru modelarea numerică a legilor de variaţie a mărimii unghiurilor de aşezare şi de degajare, în lungul tăişului principal al burghiului; a detalonării suprafeţei de aşezare, pentru toate metodele de ascuţire analizate (ascuţirea cilindrică, ascuţirea conică şi ascuţirea hiperboloidală); modelarea încărcării energetice în lungul muchiei de aşchiere, programe prezentate în anexele prezentei teze de doctorat.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. **Abele, E., Fujara, M., Schäfer, D.,** *Holistic approach for a simulation-based twist drill geometry optimization*, International Manufacturing Science and Engineering Conference – MSEC, pag. 1-9, 2011;
2. **Abrão, A.M., Campos Rubio, J.C., Faria, P.E., Davim, J.P.,** *The effect of cutting tool geometry on thrust force and delamination when drilling glass fibre reinforced plastic composite*, Materials and Design, pag. 1-6, 2007;
3. **Agapiou, S.J.,** *Design characteristics of new types of drill land evaluation of their performance drilling cast-iron-II. Drills with three major cutting edges*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 33, pag. 343–365, 1993;
4. **Astakhov, V.P.,** *Geometry of single-point turning tools and drills: Fundamentals and practical application*, Springer-Verlag London Limited, ISBN 978-1-84946-052-6, 2010;
5. **Bagci, E., Ozcelik, B.,** *Finite element and experimental investigation of temperature changes on a twist drill in sequential dry drilling*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 28, pag. 680–687, 2006;
6. **Bakkal, M., Shih, A., McSpadden, S., Scattergood, R.,** *Thrust force, torque, and tool wear in drilling the bulk metallic glass*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 45, pag., 863–872, 2005;
7. **Belous, V.,** *Sinteza sculelor aşchietoare*. Editura Junimea, Iaşi, 1980;
8. **Biermann, D., Terwey, I.,** *Cutting edge preparation to improve drilling tools for HPC processes*, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 1, pag. 76–80, 2008;
9. **Ben Salem, S., Bayraktar, E., Boujelbene, M., Katundi, D.,** *Effect of cutting parameters on chip formation in orthogonal cutting*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 50, pag. 7-17, 2012;
10. **Bouzounie, L.,** *Precision twist drill bit*, US Patent No. 5590987, 1997;
11. **Croitoru, C., Severincu, M., Belous, V.,** *A mathematical model and a determination method for the cutting tools life*, Bul. Institut. Polit. Iaşi, Vol. XLV (XLIX), 3-4, Secţia V – Constr. de maşini, pag. 151-158, 2000;
12. **DeOliveira, V.V.,** *Influência da geometria de brocas na furação do ferro fundido vermicular*, Master's Thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil, 153 pag., 2008;
13. **Dolinšek, S., Kopač, J.,** *Mechanism and types of tool wear; particularities in advanced cutting materials*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 19, Issue 1, pag. 11-18, 2006;
14. **Elhachimi, M., Torbaty, S., Joyot, P.,** *Mechanical modelling of high speed drilling. 1: predicting torque and thrust*, International Journal of Machine Tools & Manufacture Vol. 39, pag. 553–568, 1999;
15. **Ema, S.,** *Effects of twist drill point geometry on torque and thrust*, Science Report of the Faculty of Education Journal, Gifu University, Vol. 36, pag. 165-174, ISSN 0533-9529, 2012;
16. **Fetecău, C.,** *Sinteza unor procedee de ascuţire a burghiilor elicoidale cu tăşuri curbe* – Teză de doctorat, Galaţi, 1997;
17. **Fetecău, C., Oancea, N., Stan, F.,** *Dispozitiv şi procedeu pentru ascuţirea toroidală a burghiului elicoidal cu tăşuri curbe*, Brevet de invenţie nr. 113724, 1998;

18. Fetecău, C., Oancea, N., Lepădatu, M., *Procedeu şi dispozitiv pentru ascuţirea elicoidală a burghiului elicoidal cu tăşuri curbe*, Brevet de invenţie nr. 112723, 1998;
19. Fetecău, C., Stan, F., Oancea, N., *Toroidal grinding method for curved cutting edge twist drills*, Journal of materials processing tehnology, Vol. 209, pag. 3460-3468, 2009;
20. Granovski, G.I., Granovski, V.G., *Rezanie metallov*, Vişşia şcola, Moskva, 1985;
21. Heinemann, R., Hinduja, S., Barrow, G., Petuelli, G., *Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, pag. 1–6, 2006;
22. Hinds, B.K., Treanor, G.M., *Analysis of stresses in micro-drills using the finite element Method*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, pag. 1443–1456, 2000;
23. Hsieh, J.F., *Mathematical model for helical drill point*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 45, 2005, pag. 967–977;
24. Isbilir, O., Ghassemieh, E., *Finite element analysis of drilling of titanium alloy*, Procedia Engineering, Vol. 10, pag. 1877–1882, 2011;
25. Johnson, G.R., Cook, W.H. (1983), *A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high*, Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics, pag. 541–547, 2009;
26. Kadam, M.S., Pathak, S.S., *Experimental analysis and comparative performance of coated and uncoated twist drill bit dry machining*, International Journal of Research in Mechanical Engineering and Technology, Vol. 1, pag. 33-37, 2011;
27. Kalidas, S., Kapoor, S., DeVor, R., *Influence of thermal effects on hole quality in dry drilling, Part I: A thermal model of workpiece temperatures*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 124, pag. 258-265, 2002;
28. Kapoor, S.G., DeVor, R.E., Zhu, R., Gajjela, R., Parakkal, G., Smithey, D., *Development of mechanistic models for the prediction of machining performance: model building methodology*, Machining Science and Technology, Vol. 2, pag. 213-238, 1998;
29. Karpat, Y., Özel, T., *Predictive analytical and thermal modeling of orthogonal cutting process - Part II: Effect of tool flank wear on tool forces, stresses, and temperature distributions*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 128, pag. 445-453, 2006;
30. Kubota, M., *Twist drill*, US Patent No. 4688972, 1987;
31. Kumar, J.P., Packiaraj, P., *Effect of drilling parameters on surface roughness, tool wear, material removal rate and hole diameter error in drilling of ohns*, International Journal of Advanced Engineering Research and Studies, Vol. 1, pag. 150-154, 2012;
32. Kyratsis, P., Tapoglou, N., Bilalis, N., Antoniadis, A., *Thrust force prediction of twist drill tools using a 3D CAD system application programming interface*, International Journal of Machining and Machinability of Materials, Vol. 10, pag. 18-33, 2011;
33. Langella, A., L. Nele, A. Maio, *A torque and thrust prediction model for drilling of composite materials*, Composites: Part A, Vol. 36, pag. 83–93, 2005;
34. Lăzărescu, I., *Teoria aşchierii metalelor şi proiectarea sculelor*, Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1964;
35. Li, R., Shih, A., *Finite element modeling of high-throughput drilling of Ti-6Al-4V*, Proceedings of NAMRI/SME, Vol. 35, pag. 73–80, 2007;
36. Li, R., Hegde, P., Shih, A., *High-throughput drilling of titanium alloys*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 47, pag. 63–74, 2007;
37. Lin, T.R., Shyu, R.F., *Improvement of tool life and exit burr using variable feeds when drilling stainless steel with coated drills*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 16, pag. 308–313, 2000;
38. Litvin, F.L., *Theory of gearing*, Reference Publication 1212, NASA, Scientific and Technical Information Division, Washington D.C., 1984;
39. López de Lacalle, L.N., Fernández, A., Olvera, D., Lamikiz, A., Olvera, D., Rodríguez, C., Elias, A., *Monitoring deep twist drilling for a rapid manufacturing of light high-strength parts*, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 25, pag. 2745–2752, 2011;
40. Matsumura, T., Hori, I., Shirakashi, T., *Analysis of cutting temperature in drilling process*, The International Journal of Material Forming, Vol. 3, pag. 499– 502, 2010;
41. Mieszczak, W., Lis K., *FEM Temperature Modelling in Drilling Process*, Proceedings of the 14th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology", pag. 33-36, 2010;
42. Minciu, C., *Broşarea*, Vol. 1 şi 2, Ed. Tehnică, Bucureşti, ISBN 973-31-0072-2, 1989;
43. Nayebi, A., Mauvoisin, G., Vaghefpoor, H., *Modeling of twist drills wear by a temperature-dependent friction law*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 207, pag. 98–106, 2008;
44. Neagu, M., *Modelarea numerică a fenomenelor termice*, Ed. Tehnopress, Iaşi, ISBN 973-702-278-5, 2005;
45. Oancea N., *Generarea suprafeţelor prin înfăşurare*, The „Dunărea de Jos” Publishing House, Galaţi, Vol. I, II, ISBN 973–627–106–4, 2004;

46. **Oancea, N., Fetecău, C., Teodor, V.G., Dumitraşcu, N., Marinescu, V.,** *Procedeu şi dispozitiv pentru ascuţirea conică a burghiilor multi-tăiş cu muchie de aşchiere în arc de cerc*, Brevet de invenţie nr. RO125838B1, 2011;
47. **Panda, S., Chakraborty, D., Pal, S.,** *Monitoring of drill flank wear in the time domain*, Proceedings of the Int. Conf. on Artificial Intelligence and Applications (AIA), Innsbruck, Austria, 2005;
48. **Pathak, S.S., Kagade, V.R., Kadam, M.S.,** *Experimental analysis of coated and uncoated twist drill: Review*, International Journal of Mechanical & Industrial Engineering, Vol. 1, pag. 22-25, 2011;
49. **Peña, B., Aramendi, G., Rivero, A., de Lacalle, L.N.L.,** *Monitoring of drilling for burr detection using spindle torque*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 45, pag. 1614-1621, 2005;
50. **Petrariu, V., Amarandei, D., Alaci, S.,** *Study about finite element analysis of high speed drilling*, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VII (XVII), pag. 1684-1689, 2008;
51. **Rivero, A., Aramendi, G., Herranz, S., de Lacalle, L.N.L.,** *An experimental investigation of the effect of coatings and cutting parameters on the dry drilling performance of aluminium alloys*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 28, pag. 1-11, 2006;
52. **Rotberg, J., Lenz, E., Levin, M.,** *Drill and clamping interface in high-performance drilling*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, pag. 229-238, 1998;
53. **Roud, P., Zetek, M., Cesáková, I., Sklenicka, J., Kozmin, P.,** *Using of FEM for chip formation and cutting force prediction when drilling tool steel AISI D3*, Modern Machinery Science Journal, pag. 236-240, 2011;
54. **Sahu, S., DeVor, R., Kapoor, S.,** *Modeling of forces for drills with chip-breaking grooves*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 126, pag. 555-564, 2004;
55. **Sambhav, K., Dhande, S.G., Tandon, P.,** *CAD based mechanistic modeling of forces for generic drill point geometry*, Computer-Aided Design & Applications, Vol. 7, pag. 809-819, 2010;
56. **Sauer, M.,** *Simulation of dynamic material behaviour using a hybrid (meshbased / meshless) numerical method*, 9th International Symposium on Interaction of the Effects of Munitions with Structure, Germany, 2000;
57. **Secară, Gh.,** *Proiectarea sculelor aşchietoare*, Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979;
58. **Semencenko, I.I., Matiuşin, V.M., Saharov, G.N.,** *Proektirovanie metallorejuşcih instrumentov*, Gosudarstvennoe naucino-tehnicescoe izdatelistvo maşinostroitelinoi literaturf, Moskva, 1962;
59. **Teodor V.G., Martin, F.J.S., Dumitraşcu, N., Oancea, N.,** *Energetically model of helical drill cutting edge form*, The Annals of „Dunărea de Jos” University of Galaţi, Fasc. V - Technologies in Machine Building, pag. 23-28, 2008;
60. **Teodor V.G.,** *Contribution to elaboration method for profiling tools wich generate by enveloping*, Lambert Academic Publishing, ISBN 978-3-9433-8261-8, 2010;
61. **Teodor, V.G., Fetecău, C., Dumitraşcu, N., Marinescu, V., Oancea, N.,** *Procedeu şi dispozitiv pentru ascuţirea cilindrică a burghiilor multi-tăiş cu muchie de aşchiere în arc de elipsă*, Brevet de invenţie nr. RO125839B1, 2011;
62. **Tsao, C.C.,** *Prediction of flank wear of different coated drills for JIS SUS 304 stainless steel using neural network*, Journal of material processing technology, Vol. 123, pag. 354-360, 2002;
63. **Tyan, T., Yang, W.H.,** *Analysis of orthogonal metal cutting processes*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol. 34, pag. 365-389, 1992;
64. **Vlase, A., ş.a.,** *Tehnologii de prelucrare pe strunguri*, Ed. Tehnică, ISBN 973-31-0061-7, 1989;
65. **Wang, X., Huang, C., Zou, B., Liu, H., Wang, J.,** *Effects of geometric structure of twist drill bits and cutting condition on tool life in drilling 42CrMo ultrahigh-strength steel*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, DOI 10.1007/s00170-012-4026-2, 2012;
66. **Xia, R.S., Mahdavian, S.M.,** *Experimental studies of step drills and establishment of empirical equations for the drilling process*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 45, pag. 235-240, 2004;
67. **Zhu, J.,** *Machining feature based geometric modeling of twist drills*, PhD Thesis, Concordia University Montreal, Canada, 2011;
68. *** **Internet, OSG Tool**, <http://www.osgtool.com/megamuscle/>
69. *** **Internet, Grup Renault România**, <http://www.renault-technologie-roumanie.com/>
70. *** **Internet, SC Sidem Romania**, <http://www.sidem.be/>
71. *** **Internet, Minitab**, <http://www.minitab.com/>
72. *** **Internet, ANCA's Toolroom 2012 tool grinding software**, <http://www.anca.com/>
73. *** **Internet, SV& Toolbox software**, <http://www.tools-wizard.com/>
74. *** **DIN ISO 5419 (1998-06), Twist Drills - Terms, Definitions and Types**
75. *** **ISO 3685-1993, Tool Life Testing with Single Point Turning Tools**
76. *** **SR ISO 3685:2012, Durabilitatea sculelor aşchietoare. Uzură. Noţiuni generale**

Lista lucrărilor publicate în cadrul tezei de doctorat – N. BAROIU

77. **N. Baroiu**, S. Berbinschi, V. Teodor, C. Fetecău, N. Oancea, *Hyperboloidal sharpening method for multi-flute curved edges drills*, The Annals of “Dunărea de Jos” University of Galaţi, Fascicle V, Volume II, pag. 117-124, ISSN 1221- 4566, 2010;
78. V. Teodor, **N. Baroiu**, C. Fetecău, S. Berbinschi, N. Oancea, *Procedeu şi dispozitiv pentru ascuţirea hiperboloidală a burghiilor multităiş cu muchie de aşchiere în arc de cerc*, Poster, Salonul Internaţional al Cercetării, Inovării şi Inventicii - PRO INVENT, Cluj – Napoca, România, 22 – 25 Martie, 2011;
79. **N. Baroiu**, S. Berbinschi, V. Teodor, C. Urse, *Modelling and simulating the manufacturing of a twisted drill with three curved cutting edges, using the SV& Toolbox software*, The Annals of “Dunărea de Jos” University of Galaţi, Fascicle V, Volume II, pag. 95-102, ISSN 1221-4566, 2011;
80. **N. Baroiu**, V. Teodor, N. Dumitraşcu, N. Oancea, *Comparative analytical models for sharpening of multi-flute drills with curved cutting edges*, The Annals of “Dunărea de Jos” University of Galaţi, Fascicle V, Volume I, pag. 81-86, ISSN 1221- 4566, 2011;
81. **N. Baroiu**, S. Berbinschi, V. Teodor, *The reconstruction of a 3D component through reverse engineering*, Buletinul Institutului Politehnic din Iaşi, Tomul LVII (LXI), Fasc. 5, pag. 125-132, ISSN 1011-2855, 2011;
82. **N. Baroiu**, *Modele analitice comparative ale unor procedee de ascuţire a burghiilor cu tăşuri curbe-multităiş*, Lucrările Sesiunii Naţionale de Comunicări Ştiinţifice Studenteşti „A. Saligny”, 18-20 Mai 2011, pag. 537-547;
83. **N. Baroiu**, *Tehnici de inginerie inversă vs. modelare 3D în cazul unui burghiu cu tăşuri curbe*, Lucrările Sesiunii Naţionale de Comunicări Ştiinţifice Studenteşti „A. Saligny”, 18-20 Mai 2011, pag. 548-554;
84. **N. Baroiu**, V.G. Teodor, S. Berbinschi, N. Oancea, *Multi-flute helical drills - the modeling of a hyperboloid sharpening method of the back faces*, Proceedings of The International Conference on Innovative Technologies - IN-TECH, Bratislava, pag. 37-41, ISBN 978-80-904502-6-4, 2011;
85. S. Berbinschi, **N. Baroiu**, V.G. Teodor, N. Oancea, *A profiling method for secondary order tool for drill manufacturing*, The International Conference New Technologies In Manufacturing – NEWTECH, Brno, pag. 57-62, ISBN 978-80-214-4267-2, 2011;
86. **N. Baroiu**, S. Berbinschi, V. Teodor, N. Oancea, *Experimental research regarding the temperature along the cutting edge of drills*, The Annals of “Dunărea de Jos” University of Galaţi, Fascicle V, Volume I, pag. 17-26, ISSN 1221- 4566, 2012;
87. **N. Baroiu**, S. Berbinschi, V. Teodor, N. Oancea, *Comparative study of drill’s flank geometry developed with the CATIA software*, The Annals of “Dunărea de Jos” University of Galaţi, Fascicle V, Volume I, pag. 27-32, ISSN 1221- 4566, 2012;
88. **N. Baroiu**, S. Berbinschi, V. Teodor, N. Oancea, *The modeling of the active surfaces of a multi-flute helical drill with curved cutting edge using the SV& Toolbox environment*, Proceedings of the 13th International Conference on Tools – ICT, Miskolc, pag. 259-264, ISBN 978-963-9988-35-4, 2012;
89. **N. Baroiu**, V. Teodor, S. Berbinschi, N. Oancea, *The methodology to generate a helical flute for drill with curved cutting edge, using SV& Toolbox environment*, Proceedings of The 16th international Conference Modern Technologies, Quality and Innovation - ModTech, pag. 85-88, ISSN 2069-6736, 2012;
90. **N. Baroiu**, *Aspecte teoretice şi experimentale privind transferul termic la strunjirea cu un burghiu elicoidal cu trei tăşuri curbe*, Lucrările Sesiunii Naţionale de Comunicări Ştiinţifice Studenteşti „A. Saligny”, Ediţia a IV-a, 18-21 Mai 2012, Vol. III, pag. 859-872;
91. **N. Baroiu**, *Modelarea suprafeţelor active ale unui burghiu elicoidal cu trei tăşuri curbe folosind pachetul software SV & Toolbox*, Lucrările Sesiunii Naţionale de Comunicări Ştiinţifice Studenteşti „A. Saligny”, Ediţia a IV-a, 18-21 Mai 2012, Vol. III, pag. 873-881;
92. **N. Baroiu**, V. Teodor, V. Căpitănescu, *Repeatability analysis of drill positioning to a CNC vertical machining center*, Academic Journal of Manufacturing Engineering - AJME, Vol. 1, 2013;
93. **N. Baroiu**, D. Amarandei, C. Croitoru, *Performances of multi-flute drills compared to standard drills*, Proceedings of The 17th International Conference New Technologies And Products In Machine Manufacturing Technologies, Tehnomus XVII, Suceava, pag. 21-28, ISSN-1224-029X, 2013;
94. **N. Baroiu**, C. Croitoru, S. Berbinschi, V. Teodor, S. Totolici, *Cutting force and torque at drilling with curved cutting edge multi-flute drill*, Proceedings of The International Conference on Industrial and Manufacturing Technologies - INMAT '13, Vouliagmeni, Athens, Greece, pag. 46-51, ISBN: 978-1-61804-186-9, 2013;
95. **N. Baroiu**, D. Boazu, C.A. Vasilache, V. Teodor, *Modeling of stress in drills with curved cutting edges*, Lucrare acceptată spre publicare la Innovative Manufacturing Engineering International Conference - IManE Iaşi, 2013;
96. **N. Baroiu**, S. Berbinschi, *CAD modeling of helical cylindrical surfaces with applications for helical drills*, Lucrare acceptată spre publicare la The International Conference on Engineering Graphic and Design – ICEGD, Timişoara, 13 - 15 Iun. 2013;
97. **N. Baroiu**, S. Berbinschi, V. Teodor, N. Oancea, *Research regarding durability for multi-flute curved edges drills*, Lucrare acceptată spre publicare la 6 th International Conference on Manufacturing Science and Education – MSE, Sibiu, 12-15 Iun. 2013;
98. **N. Baroiu**, V. Teodor, S. Berbinschi, N. Oancea, *Sharpening method and behaviour in the machining of the multi flute drill with curved cutting edges*, Lucrare trimisă spre publicare la International Journal of Advanced Manufacturing Technology

99. **Brevet de invenţie nr. RO 127177 A2, Procedeu şi dispozitiv pentru ascuţirea hiperboloidală a burghiilor elicoidale multi-tăiş cu muchii de aşchiere în arc de cerc.** Autori: V.G. Teodor, **N. Baroiu**, C. Fetecău, S. Berbinschi, N. Oancea

Curriculum vitae	
Informaţii personale	
Nume / Prenume	Baroiu Nicuşor
Telefon(oane)	+40-336 130 208, int. 391 Mobil: +40-721 771 000
E-mail(uri)	nicusor.baroiu@ugal.ro, nicusorbar@yahoo.com
Data şi locul naşterii	19.11.1975, Vatra Dornei – Jud. Suceava
Educaţie şi formare	
Perioada	
2005 - 2009	2005 - 2009
Calificarea / diploma obţinută	Inginer, Domeniul Inginerie Geodezică, Specializarea – Măsurători Terestre şi Cadastru
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ	Universitatea Tehnică de Construcţii Bucureşti, Facultatea de Geodezie – prin Universitatea „Dunărea de Jos” din Galaţi, Facultatea SIA, Specializarea Măsurători Terestre şi Cadastru;
Perioada	
1999 - 2000	1999 - 2000
Calificarea / diploma obţinută	Diplomă Studii Aprofundate – Domeniul Tribologie
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ	Universitatea „Dunărea de Jos” din Galaţi, Facultatea de Mecanică, 47 Domnească, Galaţi, 800 201, România
Perioada	
1994 - 1999	1994 - 1999
Calificarea / diploma obţinută	Inginer, Domeniul Inginerie Mecanică, Specializarea Utilaj Tehnologic
Numele şi tipul instituţiei de învăţământ	Universitatea „Ştefan cel Mare” Suceava, Facultatea de Inginerie Mecanică Str. Universităţii nr. 13, Suceava, 720229, România
Perioada	
2008 - 2013	2008 - 2013
<p>Autorizare categoria B pentru lucrări de specialitate în domeniile cadastrului, geodeziei şi cartografiei, Certificat de autorizare seria RO-GL-F, Nr. 0105/23.07.2012, eliberat de MAI-ANCPI, Galaţi, 2012;</p> <p>Program formare în domeniul Sistemelor informatice de management al şcolarităţii, respectiv al Sistemelor de gestiune economică-SAP, Contract POSDRU/86/1.2/S/62689, Galaţi, 2011- 2012;</p> <p>Training courses, Essentials for NX Designers, Intermediate NX Design and Assemblies, NX CAM Milling, NX CAM Turning, Siemens Industry Software, Ada Computers, Sibiu, 19-29 Iul. 2011;</p> <p>Program de specializare în autorat ştiinţific privind Evaluarea calităţii cercetării din universităţi şi creşterea vizibilităţii prin publicare ştiinţifică, Galaţi, 2011;</p> <p>Implementarea şi menţinerea sistemelor de management al calităţii - Certificarea Sistemelor de Management, Îmbunătăţirea proceselor şi a Sistemului de Management al Calităţii, CRIDAS Management Solutions, Galaţi, 2009;</p> <p>Competenţe Formator - Pregătirea şi evaluarea formării, promovarea programului de formare, marketing-ul formării, evaluarea cursanţilor - Euro Didactica, Iaşi, 2009;</p> <p>Studii postuniversitare - Managementul Calităţii în Învăţământul la Distanţă - Informatică aplicată în învăţământul la distanţă, Procedee şi mecanisme de tutoriat educaţional, Galaţi, 2008.</p>	
Competenţe şi aptitudini de utilizare a calculatorului	- MSWindows & MSOffice; Aplicaţii grafice: Corel Draw, Adobe PhotoShop; Web design: HTML, Flash, Php; CAD/CAE/CAM: AutoCAD, Solid Edge, NX Siemens; - Software specialitate domeniu cadastral: Autodesk Map, ArcGIS Desktop.
Informaţii suplimentare	Activitate ştiinţifică: Articole ştiinţifice publicate în reviste indexate ISI, în baze de date, reviste recunoscute CNCIS, volumele unor conferinţe ştiinţifice internaţionale şi naţionale: 63 (prim autor şi coautor); Cărţi/manuale universitare: 6 (coautor); Alte cărţi (în curs de publicare): 3; Contracte Cercetare-Dezvoltare-Inovare: 6 (membru în echipă); Brevete de invenţie: 1 (coautor), Propuneri brevete de invenţie: 2 (coautor)

