Universitatea
Transilvania
din Brașov

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ
Facultatea: Inginerie Tehnologică și Management Industrial
Departamentul: Ingineria Fabricației

Ing. Raluca DIȚU (căs. DAICU)

TEZĂ DE DOCTORAT

ABORDĂRI INOVATIVE LA AȘCHIEREA METALELOR

INNOVATIVE APPROACHES TO METAL CUTTING

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător ştiinţific:
Prof. dr. ing. Gheorghe OANCEA

BRAȘOV, 2021

D-lui (D-nei) .....

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov
Nr. ..... din .....

PREŞEDINTE:	prof. univ. dr. ing. .....
CONDUCĂTOR ŞTIINȚIFIC:	prof. univ. dr. ing. Gheorghe OANCEA
	Universitatea Transilvania din Brașov
REFERENȚI:	prof. univ. dr. ing. .....
	.....
	prof. univ. dr. ing. .....
	.....
	prof. univ. dr. ing. .....
	.....

Data, ora şi locul susținerii publice a tezei de doctorat: ....., ora ....., sala .....

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vor fi transmise electronic, în timp util, pe adresa raluca.daicu@unitbv.ro

Totodată, vă invităm să luați parte la şedința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim !

- Cuprins (limba română) –

	Pg. teză	Pg. rezumat
Sinteza tezei de doctorat	9	9
Listă de notații	11	11
Listă de abrevieri	11	11
Capitolul 1. Stadiul actual al cercetărilor privind fenomene la așchierea metalelor ce pot fi abordate inovativ	13	13
1.1. Necesitatea abordărilor inovative la aşchierea metalelor	13	13
1.2. Fenomene ce au loc la aşchierea metalelor	16	15
1.2.1. Elemente introductive	16	15
1.2.2. Identificarea fenomenelor ce au loc la așchierea metalelor	18	16
1.2.3. Procesul de așchiere privit ca sistem	19	17
1.2.4. Evidențierea complexității desfășurării procesului de așchiere	19	17
1.3. Uzura sculei așchietoare	22	19
1.3.1. Elemente de bază	22	19
1.3.2. Metode on-line de măsurare a uzurii	27	22
1.3.3. Metode off-line de măsurare a uzurii	38	25
1.4. Curentul electric de așchiere	39	26
1.4.1. Identificarea efectelor şi fenomenelor ce dau curent electric de aşchiere	39	26
1.4.2. Evoluția cercetărilor privind curentul electric la așchiere	42	26
1.5. Concluzii	51	31
1.5.1 Concluzii privind uzura sculei așchietoare	51	31
1.5.2 Concluzii privind curentul electric de așchiere	52	32
Capitolul 2. Obiectivele tezei de doctorat	54	33
Capitolul 3. Metode și mijloace alternative pentru măsurarea uzurii plăcuțelor aşchietoare	56	35
3.1. Elaborarea unei metodologii de măsurare a uzurii plăcuțelor aşchietoare	57	36
3.2. Identificarea și determinarea erorii umane de măsurare a uzurii	63	42
3.2.1. Identificarea surselor de eroare umană la măsurarea uzurii	63	42
3.2.2. Determinarea erorii de măsurare indusă de un operator	66	43
3.2.3. Determinarea erorii de măsurare indusă de operatori independenți	68	44
3.3. Măsurarea uzurii plăcuțelor aşchietoare cu scanerul 3D	70	44
3.4. Măsurarea uzurii plăcuțelor aşchietoare cu profilometrul digital 2D	79	45
3.5. Măsurarea uzurii plăcuțelor aşchietoare cu microscopul optico-digital 2D	81	47
3.6. Măsurarea uzurii plăcuțelor aşchietoare cu microscopul digital 3D	82	48
3.7. Compararea rezultatelor și concluzii	85	49
3.7.1. Compararea rezultatelor și concluzii pentru tăișul nr. 1	85	49
3.7.2. Compararea rezultatelor și concluzii pentru tăișurile 2÷10	87	50
3.7.3. Compararea rezultatelor și concluzii pentru 10 tăișuri	89	51
Capitolul 4. Abordarea inovativă a utilizării curentului electric de aşchiere la burghiere	92	52
4.1. Stand experimental de măsurare a curentului electric de aşchiere la burghiere	93	53

4.2. Aprecierea calității unui lot de burghie 94 54
4.2.1. Identificarea aplicației 94 54
4.2.2. Organizarea experimentelor..... 95 54
4.2.3. Realizarea experimentelor și prelucrarea datelor 96 55
4.2.4. Interpretarea rezultatelor 99 56
4.3. Achiziționarea inovativă a burghielor 100 56
4.3.1. Identificarea aplicației 100 56
4.3.2. Analiza experimentală a calității burghielor din două loturi, de la doi furnizori, în funcție de tensiunea curentului electric de aşchiere 100 57
4.3.3. Estimarea inovativă a durabilității burghielor din lotul I și lotul al II-lea utilizând dependență liniară 104 58
4.3.4. Validarea estimării durabilității burghielor din lotul I și al II-lea 106 60
4.3.5. Estimarea inovativă a durabilității burghielor din lotul I și lotul al II-lea utilizând relația polinomială de gradul 2, comparativ cu relația liniară 110 62
4.3.6. Analiza economică la achiziționarea a două loturi de burghie 112 63
4.4. Abordare ecologică la aprecierea calității burghielor 113 65
4.5. Abordarea eficienței intrării line în aşchiere a burghiului de ϕ8 mm utilizând curentul electric de aşchiere 116 66
4.5.1. Argumente privind intrarea lină în aşchiere a burghiului 116 66
4.5.2. Prezentarea dispozitivului de intrare lină în aşchiere a burghiului 116 66
4.5.3. Planificarea experimentelor 118 66
4.5.4. Efectuarea experimentelor şi prelucrarea rezultatelor 119 67
4.6. Reingineria dispozitivului pentru intrarea lină în aşchiere a burghiului 123 69
4.6.1. Calculul forței axiale de aşchiere la burghiere 124 69
4.6.2. Calculul momentului de aşchiere la burghiere 130 70
4.6.3. Calculul arcului dispozitivului pentru identificarea gamei de utilizare 136 71
4.6.4. Identificarea parametrilor de lucru pentru dispozitivul de intrare lină în aşchiere a burghiului 137 71
4.6.5. Modificarea arcului de lucru la dispozitivul de intrare lină în aşchiere a burghiului .. 138 72
4.7. Concluzii 139 73
Capitolul 5. Abordarea inovativă a utilizării curentului electric de aşchiere la strunjire 141 75
5.1. Stand de măsurare a curentului electric de aşchiere la strunjire 142 76
5.2. Îmbunătățirea colectorului de curent electric la strunjire 144 76
5.3. Influența regimului de aşchiere asupra tensiunii curentului electric de aşchiere la strunjirea cu plăcuțe aşchietoare acoperite 145 77
5.3.1. Programarea și efectuarea experimentelor 145 77
5.3.2. Prelucrarea datelor. Analiza ANOVA 148 78
5.3.3. Optimizarea regimului de aşchiere, folosind curentul electric de aşchiere, în vederea creşterii durabilității sculei aşchietoare, la strunjire 154 82
5.4. Tehnică inovativă privind aprecierea calității plăcuțelor aşchietoare fixate mecanic 156 84
5.4.1.Identificarea aplicației și stabilirea metodolgiei privind aprecierea calității plăcuțelor aşchietoare 156 84
5.4.2. Determinarea grosimii straturilor de acoperire a plăcuțelor din carbură metalică .. 157 85
5.4.3. Determinarea durității și aderenței straturilor de acoperire a plăcuțelor din carbură metalică 159 87

5.4.4. Realizarea experimentelor și prelucrarea datelor obținute pentru aprecierea calității loturilor de plăcuțe așchietoare 160 88
5.4.5. Aspecte economice privind loturile de plăcuțe așchietoare 166 92
5.5. Concluzii 167 93
6. Concluzii finale, contribuții personale, diseminare și direcții viitoare de cercetare 170 96
6.1. Concluzii finale 171 97
6.2. Contribuții personale 180 101
6.3. Diseminarea rezultatelor obținute 181 102
6.4. Direcții viitoare de cercetare 182 103
Bibliografie selectivă 183 104
Anexe ..... 198 -
Anexa 1 – Buletin de analiză a oțelului C45 ..... 198 -
Anexa 2 – Extras din raportul de măsurători a uzurii cu scanerul 3D GOM ..... 199 -
Anexa 3 – Extras din raportul de măsurători a uzurii cu profilometrul digital 2D ..... 201 -
Anexa 4 – Raport de măsurători a uzurii cu microscopul digital 3D ..... 203 -
Anexa 5 – Măsurători ale uzurii cu microscopul optico-digital 2D ..... 205 -
Anexa 6A – Raport de măsurători a grosimii stratului de acoperire pentru plăcuțe așchietoare din lotul A ..... 216 -
Anexa 6B – Raport de măsurători a grosimii stratului de acoperire pentru plăcuțe așchietoare din lotul B ..... 217 -
Anexa 6C – Raport de măsurători a grosimii stratului de acoperire pentru plăcuțe așchietoare din lotul C ..... 218 -
Anexa 7 – Extras din raportul de măsurători a durității straturilor de acoperire ..... 219 -
Anexa 8 – Raport de măsurători a aderenței straturilor de acoperire pentru plăcuțele așchietoare ..... 230 -
Anexa 9 – Captură pentru raport de achiziție date la măsurarea tensiunii curentului electric de așchiere ..... 244 -
Scurt rezumat al tezei de doctorat (română / engleză) 245 110
Curriculum vitae 246 111

- **Content** (english language) –

	Pg. teză	Pg. rezumat
Synthesis of the thesis	9	9
Notation list	11	11
Abbreviations list	11	11
Chapter 1. Current state of research on phenomena in cutting metals that can be approached innovatively	13	13
1.1. The neccessity for innovative approaches to metal cutting	13	13
1.2. Phenomena that occur when cutting metals	16	15
1.2.1. Indrotuctory elements	16	15
1.2.2. Identifying the phenomena that occur when cutting metals	18	16
1.2.3. The cutting process seen as a system	19	17
1.2.4. Highlighting the complexity of the cutting process	19	17
1.3. Wear of the cutting tool	22	19
1.3.1. Basic elements	22	19
1.3.2. Online methods of measuring wear	27	22
1.3.3. Off-line methods of measuring wear	38	25
1.4. Electrical current at cutting	39	26
1.4.1. Identifying the effects and phenomena that give electical current at cutting	39	26
1.4.2. The evolution of research on electric current at cutting	42	26
1.5. Conclusions	51	31
1.5.1 Conclusions about the wear of the cutting tool	51	31
1.5.2 Conclusions about the electrical current at cutting	52	32
Chapter 2. The objectives of the thesis	54	33
Chapter 3. Alternative methods for measuring the wear of the cutting inserts	56	35
3.1. Development of a methodology for measuring the wear of the cutting inserts	57	36
3.2. Identification and determination of human error for wear measurement	63	42
3.2.1. Identify sources of human error when measuring wear	63	42
3.2.2. Determining the measurement error induced by the operator	66	43
3.2.3. Determining the measurement error induced by independent operators	68	44
3.3. Measuring the wear of the cutting inserts using the 3D scanner	70	44
3.4. Measuring the wear of the cutting inserts using the 2D digital profilometer	79	45
3.5. Measuring the wear of the cutting inserts using the 2D optical-digital microscope	81	47
3.6. Measuring the wear of the cutting inserts using the 3D digital microscope	82	48
3.7. Comparison of results and conclusions	85	49
3.7.1. Comparison of results and conclusions for edge nb. 1	85	49
3.7.2. Comparison of results and conclusions for edges 2÷10	87	50
3.7.3. Comparison of results and conclusions for 10 edges	89	51

Chapter 4. Innovative approach of using electrical current at drilling 92 52
4.1. Experimental stand for measuring the electrical current at drilling 93 53
4.2. Assesment of the quality of a drill lot 94 54
4.2.1. Application identification 94 54
4.2.2. Organization of the experimental tries 95 54
4.2.3. Performing experiments and data processing 96 55
4.2.4. Interpretation of results 99 56
4.3. Innovative drills acquisition 100 56
4.3.1. Application identification 100 56
4.3.2. Experimental analysis of the quality of drills from two batches, from two suppliers, depeding on the voltage of electrical current at cutting 100 57
4.3.3. Innovative estimation of the drills life from batches I and II using linear dependance 104 58
4.3.4. Validation of life estimation of the drills from batches I and II 106 60
4.3.5. Innovative estimation of the drills life from batches I and II using the polynomial of degree 2 relation, compared to the linear relation 110 62
4.3.6. Economic analysis when purchasing two batches of drills 112 63
4.4. Ecological approach to assesing the quality of drills 113 65
4.5. Approaching to the efficiency of smooth entrance in cutting of the drill of ϕ8 mm using the electrical current at cutting 116 66
4.5.1. Arguments regarding the smooth entrance in cutting of the drill 116 66
4.5.2. Presentation of the device for smooth entrance in cutting of the drill 116 66
4.5.3. Experiment planning 118 66
4.5.4. Performing experiments and processing results 119 67
4.6. Reenginering of the device for smooth entrance in cutting of the drill 123 69
4.6.1. Calculation of the axial cutting force at drilling 124 69
4.6.2. Calculation of the cutting moment at drilling 130 70
4.6.3. Calculation of the device spring to identify the range of use 136 71
4.6.4. Identification of the working parameters for the drill smooth entrance in cutting device 137 71
4.6.5. Modification of the working spring at the device for drill smooth entrance in cutting 138 72
4.7. Conclusions 139 73
Chapter 5. Innovative approach for using the electrical current at turning 141 75
5.1. Measuring stand for the electrical current at turning 142 76
5.2. Improvement of the electrical current collector at turning 144 76
5.3. The influence of the cutting regime on the voltage of the electrical current at cutting when turnng with coated cutting inserts 145 77
5.3.1. Planning and performing experiments 145 77
5.3.2. Data processing. ANOVA analysis 148 78
5.3.3. Optimization of the cutting regime, using the electrical current at cutting, in order to increase the durability of the cutting tool at turning 154 82

5.4. Innovative technique for assesing the quality of mechanically fixed cutting inserts .. 156 84
5.4.1.Identification of the applicaton and establishment of the methodology for assesing the quality of cutting inserts 156 84
5.4.2. Determination of the thickness of the coating layers of metal carbide cutting inserts 157 85
5.4.3. Determination of the hardness and adhesion of the coating layers of metal carbide cutting inserts 159 87
5.4.4. Performing experiments and processing obtained data to assess the quality of cutting inserts batches 160 88
5.4.5. Economical aspects regarding cutting inserts batches 166 92
5.5. Conclusions 167 93
6. Final conclusions, personal contributions, dissemination and future directions of research 170 96
6.1. Final conclusions 171 97
6.2. Personal contributions 180 101
6.3. Dissemination of the obtained results 181 102
6.4. Future directions of research 182 103
Selected bibliography 183 104
Annexes ..... 198 -
Annex 1 – Analysis Bulletin of C45 steel ..... 198 -
Annex 2 – Excerpt from the wear measurement report with the 3D GOM scanner ..... 199 -
Annex 3 – Excerpt from the wear measurement report with the 2D digital profilometer..... 201 -
Annex 4 – Wear measurement report with the 3D digital microcope ..... 203 -
Annex 5 – Wear measurement with the 2D optical-digital microscope ..... 205 -
Annex 6A – Measurement report for coating layer thickness for cutting inserts from batch A ..... 216 -
Annex 6B – Measurement report for coating layer thickness for cutting inserts from batch B ..... 217 -
Annex 6C – Measurement report for coating layer thickness for cutting inserts from batch C ..... 218 -
Annex 7 – Excerpt from the coating hardness measurement report ..... 219 -
Annex 8 – Measurement report for the adhesion of the coating layers of the cutting inserts ..... 230 -
Annex 9 – Caputre for data acquisition report at voltage measurement of the electrical current at cutting ..... 244 -
Annex 10 – Short summary of the doctoral thesis (Romanian / English) 245 110
Annex 11 – Curriculum vitae 246 111

SINTEZA TEZEI DE DOCTORAT

Prelucrarea metalelor este esențială în civilizația actuală. Utilizarea așchierii la obținerea diverselor piese este, deocamdată, pe primul loc atât datorită preciziei de prelucrare cât și diversității formelor suprafețelor prelucrate. Necesitatea creșterii performanțelor procedeelor de prelucrare prin așchiere a condus atât la dezvoltarea sistemelor de prelucrare cât și la diversificarea metodelor și procedeelor de control a rezultatului prelucrărilor. Pentru stăpânirea calității pieselor rezultate, cu influență hotărâtoare asupra fiabilității produselor, s-a introdus standardul de calitate ISO9001.

O prevedere expresă a standardului ISO9001 este *Îmbunătățirea continuă*. Aceasta nu se poate realiza dacă nu se face apel la abordări inovative. În acest context, prezenta teză de doctorat abordează, în mod inovativ, problematica fabricării produselor industriale utilizând procedeele de prelucrare prin așchiere a metalelor

Capitolul 1 al tezei de doctorat, intitulat *Stadiul actual al cercetărilor privind tehnici inovative la așchierea metalelor*, tratează atât necesitatea abordărilor inovative dar și sinteza principalelor fenomene ce au loc în timpul procesului de așchiere. Totodată se dau exemple de abordări inovative la așchierea metalelor. Se evidențiază modul de stăpânire a calității prin implementarea Sistemului de Management al Calității conform standardului SR EN ISO 9001, standard ce apelează la tratarea sistemică a proceselor. Se realizează legătura dintre *Îmbunătățirea continuă* din cuprinsul standardului și *Ingineria inovativă* ca mijloc de a îmbunătăți procesele, tehnologiile, tehnicile și managementul în domeniul prelucrărilor prin așchiere a metalelor. Capitolul se încheie cu concluzii și prezintă, în mod sintetic, posibile noi direcții de abordări inovative la așchierea metalelor.

În **Capitolul 2,** având denumirea de *Obiectivele teze de doctorat*, se stabilesc obiectivele principale ale tezei, pe baza concluziilor și direcțiilor de cercetare descrise în capitolul 1.

Capitolul 3, *Mijloace alternative pentru măsurarea uzurii plăcuțelor așchietoare,* abordează problematica măsurării uzurii plăcuțelor așchietoare cu noi echipamente, și anume: prin scanare 3D, cu profilometrul digital și cu microscop digital de ultimă generație, instrumente mai puțin utilizate pentru aprecierea uzurii.

În prima parte a capitolului se elaborează metodologia de lucru iar apoi se măsoară uzuri ale plăcuțelor așchietoare cu noile mijloace la care se adaugă și microscopul 2D optico-digital. Se identifică sursele de eroare la măsurarea uzurii plăcuțelor așchietoare și se determină eroarea de măsurare ce poate să o facă un singur operator dar și operatori multipli. Se compară valorile obținute și se ajunge la concluzia, pe baza rezultatului măsurătorilor, că se poate utiliza pentru măsurarea uzurii oricare din echipamentele moderne precizate anterior.

Capitolul 4, intitulat *Abordarea inovativă a utilizării curentului electric de aşchiere la strunjire,* tratează problematica utilizării în industrie a curentului electric de așchiere. Abordările sunt inovative deoarece, până în prezent, curentul electric de așchiere, chiar dacă oferă cu ușurință informații asupra desfășurării procesului de așchiere la prelucrarea materialelor metalice cu tăișuri așchietoare metalice, nu se utilizează la scară industrială. Folosind curentul electric de așchiere se apreciază calitatea unui lot de burghie și se elaborează metodologia inovativă de achiziționare a burghielor. Se scoate în evidență și impactul ecologic al metodei elaborate. Totodată, se abordează posibilitatea utilizării curentului electric de așchiere la determinarea eficienței intrării line în așchiere a burghiului și, aplicând principiul îmbunătățirii continue, se realizează reingineria dispozitivului de intrare lină în așchiere a burghiului, rezultând, în final, mărirea gamei de utilizare.

Capitolul 5, cu titlul *Abordarea inovativă a utilizării curentului electric de așchiere la strunjire* debutează cu îmbunătățirea colectorului de curent electric din componența standului de măsurare. Pentru cercetări experimentale se utilizează un multimetru de ultimă generație dotat cu placă de achiziție date și softul aferent pentru memorarea și prelucrarea primară a datelor obținute pe cale experimentală.

Primele cercetări experimentale sunt axate pe influența regimului de așchiere la strunjire, utilizând plăcuțe acoperite cu straturi dure, asupra tensiunii curentului electric de așchiere. După programarea experimentelor, utilizând un plan factorial complet, și efectuarea lor, s-a realizat prelucrarea datelor folosind sistemul software Design Expert. În urma analizei ANOVA a rezultat o relație liniară între parametii regimului de așchiere și tensiunea curentului electric de așchiere. S-a realizat optimizarea regimului de așchiere prin minimizarea tensiunii curentului de așchiere, fapt ce conduce și la mărirea durabilității plăcuțelor așchietoare acoperite cu diverse straturi rezistente la uzură.

Curentul electric de așchiere este utilizat, în continuare, la aprecierea calității a trei loturi de plăcuțe așchietoare acoperite, fixate mecanic. Se determină grosimea straturilor de acoperire, duritatea și aderența acestora, cu aparatură de ultimă generație. După realizarea cercetărilor experimentale și prelucrarea datelor obținute se apreciază calitatea loturilor de plăcuțe așchietoare și sunt evidențiate aspecte economice.

În capitolul 6, *Concluzii finale, contribuții personale, diseminare și direcții viitoare de cercetare*, sunt prezentate concluzii generale și sunt evidențiate contribuțiile personale. Totodată sunt precizate articolele științifice publicate de către autoare din domeniul tezei de doctorat și sunt elaborate direcții viitoare de cercetare.

Teza de doctorat cuprinde 75 de tabele (20 de tabele în anexe), 178 de figuri (40 de figuri în anexe), 53 de relații și 204 surse bibliografice.

LISTA DE ABREVIERI

CAD - Computer Aided Design;
CAE - Computer Aided Engineering;
CAPP - Computer Aided Process Planning;
CAM - Computer Aided Manufacturing;
CCD - Charge-Coupled Device;
CNC - Computer Numeric Command;
FEM - Finite Element Method;
LED - Light-Emitting Diode;
SEM - Scanning Electron Microscopy;
TCM - Tool Condition Monitoring.

LISTA DE NOTAȚII

A – așchie;
C_F , C_M – coeficienți din relațiile forței de așchiere (la burghiere – forță axială) și a momentului de torsiune;
C_s – coeficient ce ține cont de materialul de prelucrat;
D – diametrul burghiului;
E – tensiunea electromotoare a termocuplului piesă-sculă;
E – modul de elasticitate longitudinal;
F – forța;
f_b – săgeata de blocaj a arcului; f_{max} – săgeata maximă;
F_b – forța de blocaj a arcului; F_{max} – sarcina maximă;
$F_{f\alpha}$ – forța de frecare pe fața de așezare a sculei așchietoare; $F_{pretens}$ – forța de pretensionare;
F_t – forța totală de așchiere; G – modul de elasticitate transversal;
HB – duritatea;
H_0 – înălțimea arcului în stare liberă; H_b – înălțimea de blocaj a arcului;
H_{min} – înălțimea minimă de lucru; i – indicele arcului;
I – intensitatea curentului electric de așchiere;
k – coeficientul de formă;
K – unghi de atac principal;

K_F , K_M – coeficienți compuși de corecție; K_{a_F}– coeficient de ascuțire;
K_{K_F}– coeficienți pentru unghiul la vârf; K_{η_F}, K_{η_M}– coeficienți pentru grosimea relativă a miezului burghiului; K_{sa_F} – coeficient de supraascuțire (ajustarea tăişului transversal);
K_s – coeficient în funcție de lungimea alezajului;
K_T – adâncimea craterului; K_M – distanța dintre tăișul așchietor și cel mai adânc punct din crater;
K_F – lățimea materialului dintre crater și tăiș; KE – deplasarea radială a vârfului sculei;
L – lichid de așchiere;
M – moment;
n – turația burghiului (sau a piesesi); n – numărul de spire ale arcului;
n_r – numărul spirelor de reazem;
P – piesă;
PT_{SF} – proces tehnologic de elaborare a semifabricatelor; PT_{PM} – proces tehnologic de prelucrări mecanice; PT_M – proces tehnologic de montaj; $PT_{î}$ – proces tehnologic de încecări;
PT_{FIN} – proces tehnologic de finisare;
r – rezistența internă a termocuplului;
r – raza la vârf;
R_a – parametrul de rugozitate R_a;
R_G – rezistența în ghidajele maşinii-unelte şi cărucior; R_i – rezistența internă de așchiere;
R_R – rezistența în rulmenți, cutie de viteze, cutie de avansuri;
R_P – rezistența în vârful de centrare şi pinolă;
f, s – avansul de așchiere;
S – sculă așchietoare;
S_A, S_B – coeficienți Seebeck;
a_p, t – adâncimea de așchiere;
T – timpul de prelucrare efectivă cu un burghiu;
U – tensiunea curentului electric de așchiere;
v, v_c – viteza de așchiere;
VB_B – uzura tăișului așchietor pe fața de așezare; VB_{MAX} – uzura maxima;
α – unghiul de așezare al sculei așchietoare; γ – unghi de degajare; ε – unghi la vârf al sculei;
η – grosimea relativă a miezului burghiului;
μ_T – coeficientul Thomson;
π_{AB} – coeficientul Peltier;
σ_r – rezistența la rupere de compresiune;
θ – temperatura în zona de așchiere;
τ – timpul de așchiere;
τ_{at} – rezistență admisibilă la torsiune.

Capitolul 1
STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND FENOMENE LA AŞCHIEREA METALELOR CE POT FI ABORDATE INOVATIV

1.1. Necesitatea abordărilor inovative la aşchierea metalelor

Construcția de Mașini și Echipamente reprezintă un pilon principal în evoluția și dezvoltarea umanității. Materialele utilizate în Fabricația de Mașini și Echipamente sunt diverse: metale și aliajele acestora, materiale plastice, materiale compozite, materiale ceramice, sticlă, lemn, rășini, etc. Cea mai mare pondere o dețin metalele și aliajele acestora iar în consecință *Construcția de Mașini* apelează la modelarea acestora în piese, iar piesele sunt introduse în subansamble și în produse finite.

Abordarea sistemică a modelării proceselor de elaborare, prelucrare și utilizare a metalelor are la bază noțiunea de *sistem*.

Construcția de Mașini, ca orice alt domeniu care concură la evoluția civilizației umane, utilizează diverse procese pentru îndeplinirea obiectivelor, procese care sunt tratate sistemic. Calitatea a devenit un obiectiv prioritar iar implementarea standardului SR EN ISO 9001 este o necesitate pentru orice firmă care dorește să ofere produse de calitate.

Îmbunătățirea continuă din Sistemul de Management al Calității apelează la un model de Management al Calității bazat tot pe procese care, de asemenea, sunt tratate sistemic (fig. 1.1).

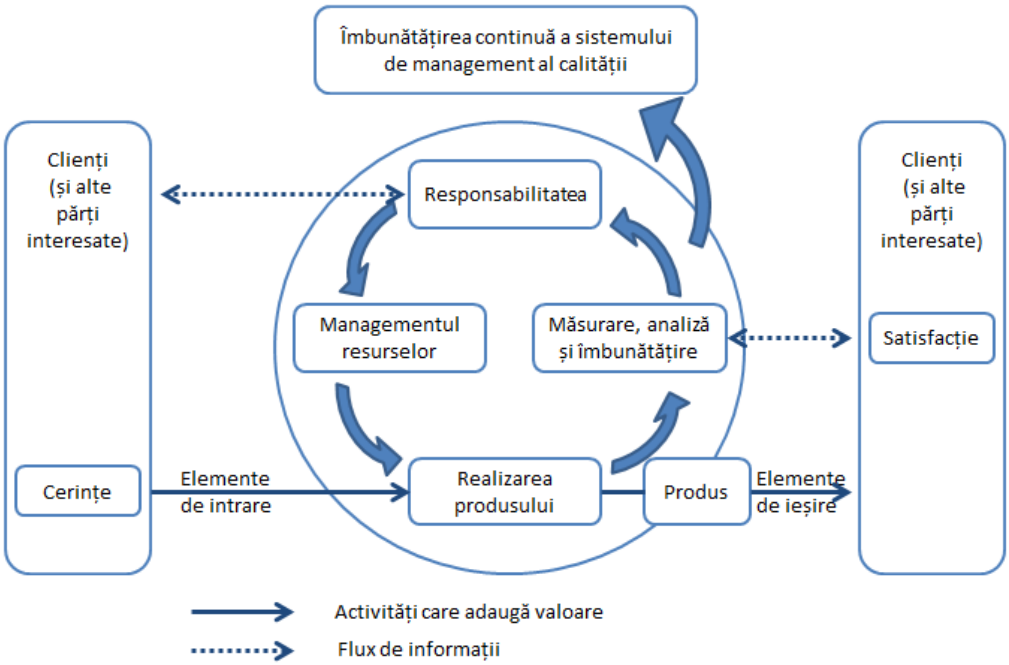


Fig. 1.1. *Schema modelului de îmbunătățire a unui sistem de Management al Calității bazat pe procese [SR EN ISO 9001]*

Procesul tehnologic de prelucrare prin așchiere PT_{PA} este o componentă a procesului tehnologic de prelucrări mecanice și are la bază sistemul tehnologic de prelucrare prin așchiere (fig. 1.2).

Deoarece așchierea reprezintă încă modalitatea principală de prelucrare a materialelor metalice, interesul pentru îmbunătățirea continuă la orice nivel este o preocupare constantă.

O îmbunătățire continuă nu poate fi realizată dacă nu se vine cu o inovare.

Conform Dicționarului explicativ al limbii române [Dex 98], inovație inseamnă "rezolvarea unei probleme de tehnică sau de organizare a muncii cu scopul îmbunătățirii (productivității) muncii, perfecționării tehnice sau raționalizării soluțiilor aplicate".

Rezultă că ***inovativ*** poate fi introdus în ***îmbunătățirea continuă*** care este cerință obligatorie în Managementul Calității (SR EN ISO 9001). Se poate spune că orice îmbunătățire în Construcția de Mașini apelează la tehnici și tehnologii inovative.

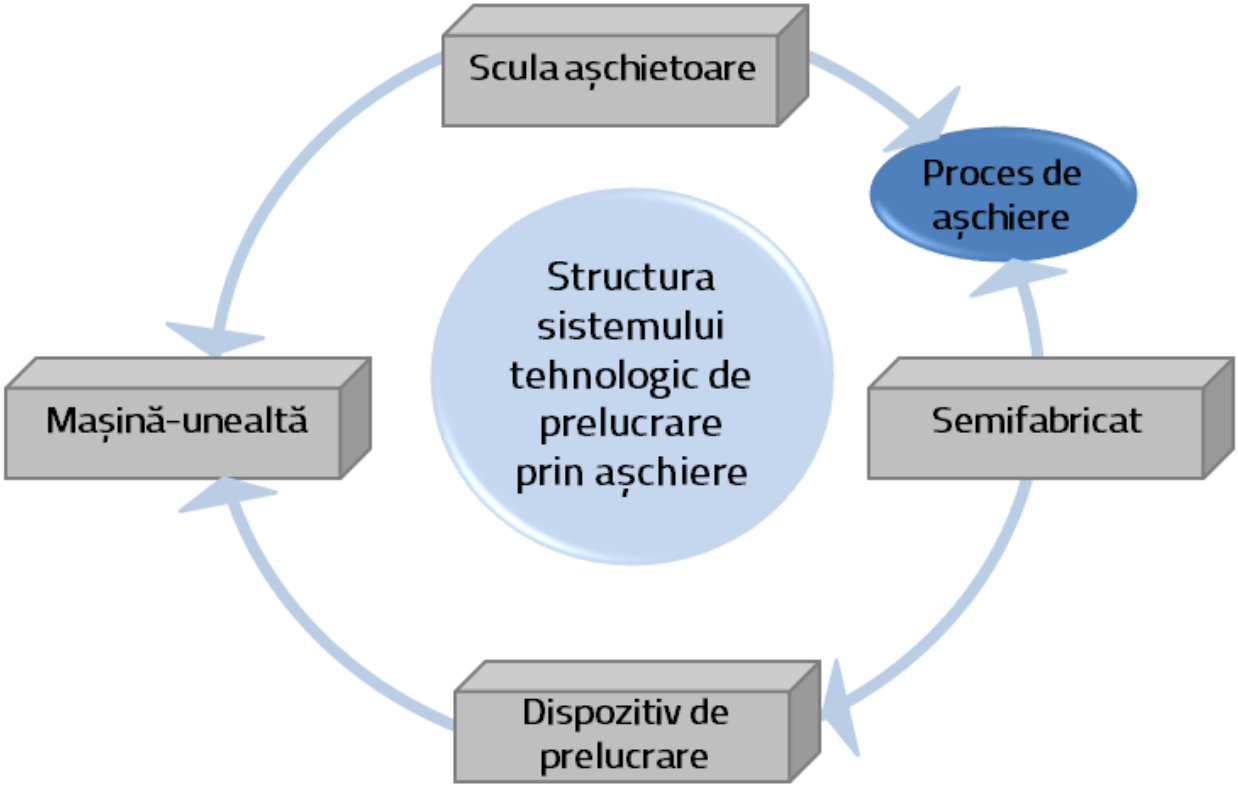


Fig. 1.2. *Schema structurii sistemului tehnologic de prelucrare prin așchiere [DIT08]*

Abordarea inovativă în construcția de mașini are ca puncte de plecare două aspecte:

1. tehnică inovativă (exemplu: mașini inovative bazate pe tehnologii inovative);
2. tehnologii inovative (exemplu: noi procedee de realizare a unui produs).

Cele două abordări se întrepătrund în sensul că o tehnică inovativă conduce la realizarea de tehnologii inovative dar și o tehnologie inovativă presupune realizarea de tehnică inovativă.

Exemple de grupări de tehnici și tehnologii inovative din construcția de mașini sunt: CAD/CAE/CAPP/CAM; Rapid Prototyping; Rapid Tooling; Rapid Manufacturing; Reverse Engineering; Concurrent Engineering; Virtual Engineering [MAN12].

O abordare inovativă fie în tehnică, fie în tehnologie se caracterizează prin următoarele:

- **aduce o noutate în raport cu o tehnică sau tehnologie utilizată curent;**
- **îmbunătățește calitativ un produs sau o piesă;**
- **simplifică tehnologiile de fabricație și de control;**
- **scurtează ciclul de fabricație;**
- **crește productivitatea muncii;**
- **îmbunătățește condițiile de muncă.**

Abordarea inovativă în Construcția de Mașini, pe lângă tehnici și tehnologii se adresează și managementului [DAI15a].

1.2. Fenomene ce au loc la aşchierea metalelor

1.2.1. Elemente introductive

Pentru utilizarea adecvată a unor noțiuni specifice Construcției de Mașini se vor prezenta câteva definiții.

Procedeu – "Mijloc folosit pentru a ajunge la un anumit rezultat; soluție practică adoptată ca sistem pentru efectuarea unui lucru; mod sistematic de executare a unei operații sau a unui proces prin folosirea unei anumite metode; fel, mod de a acționa pentru realizarea unui scop" [DEX98].

Metodă – "Procedeu sau ansamblu de procedee folosite în realizarea unui anumit scop" [DEX98].

Proces – "Succesiune de stări, etape, stadii, prin care trec, în desfășurarea lor temporală, în schimbarea lor, diverse obiecte, fenomene etc; desfășurare în timp a unui eveniment sau a unui fenomen" [DEX98]; "un ansamblu de activități corelate sau în interacțiune care transformă elementele de intrare în elemente de ieșire" [SR EN ISO 9000].

"**Proces tehnologic** – totalitatea operațiilor care comportă prelucrări mecanice și chimice, tratamente termice, impregnări, montaje etc și prin care materiile prime, semifabricatele etc. sunt transformate în produse finite" sau repararea ori întreținrea unui sistem tehnic [PIC92].

"Proces de fabricație – totalitatea procedeelor folosite pentru transformarea materiilor prime și a semifabricatelor în produse finite" [PIC92].

Dintre toate metodele şi procedeele de prelucrare a pieselor enumerate mai înainte, așa cum s-a arătat și în subcapitolul 1.1, procedeul cu cel mai mare grad de universalitate şi cu mari performanțe, rămâne, deocamdată, **aşchierea**.

Generarea suprafețelor prin aşchiere poate fi definită ca fiind îndepărtarea mai multor straturi de material de pe semifabricat, sub formă de aşchii, cu ajutorul unei scule aşchietoare, aceasta fiind un corp ce posedă un tăiş cu o duritate mai mare decât a materialului de prelucrat [DIT08].

1.2.2. Identificarea fenomenelor ce au loc la așchierea metalelor

Pentru a aborda inovativ prelucrarea prin așchiere este necesar identificarea fenomenelor care au loc în timpul procesului de așchiere.

În figura 1.3 se prezintă că fenomenele ce au loc în timpul procesului de așchiere sunt ca efecte primare ale unor acțiuni mecanice primare determinate de forțele de așchiere [DIT08], [DAI19].

Cercetările la așchiere s-au concentrat asupra efectelor primare deoarece acestea se pot evidenția și măsura mai ușor decât acțiunile primare *cauză*. Efectele primare reprezintă ieșirea din sistemul *proces de așchiere*.

Acțiunile primare *cauză* pot fi puse în evidență fie prin oprirea procesului de așchiere și pătrunderea în zona de așchiere (ex. deformații plastice, ruperi), fie indirect prin intermediul fenomenelor *efect* (ex. căldura degajată datorită frecărilor).

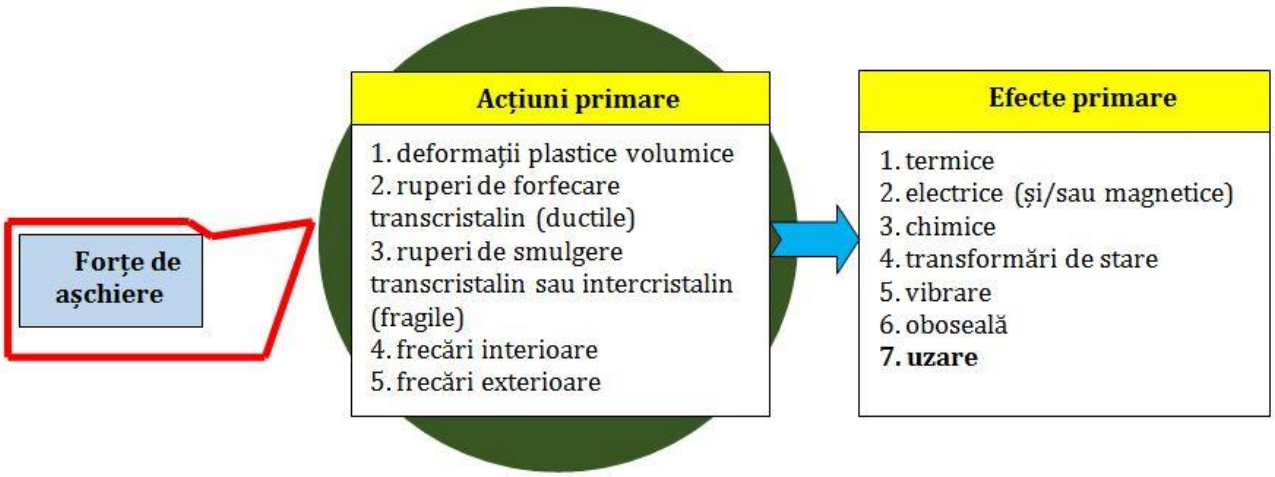


Fig. 1.3. *Acțiuni primare și efecte primare la așchiere [DAI19]*

Acțiunile primare sunt mecanice deoarece au loc începând cu intrarea sculei aşchietoare în materialul de prelucrat și sunt determinate, în principal, de rezistența materialului de prelucrat la înaintarea sculei. Cum se consideră că procesul de așchiere are loc când forța sculei aşchietoare, dată de mașina-unealtă, egalează rezistența la așchiere a materialului de prelucrat, rezistențele la așchiere sunt studiate sub denumirea de forțele de așchiere.

1.2.3. Procesul de așchiere privit ca sistem

Interacțiunea dintre fenomenele ce au loc în timpul desfășurării procesului de așchiere poate fi evidențiată mai ușor dacă procesul de așchiere este privit ca *sistem*. O identificare amănunțită a procesului de așchiere privit ca *sistem* (fig. 1.4) este detaliată în sursa biliografică [DIT08].

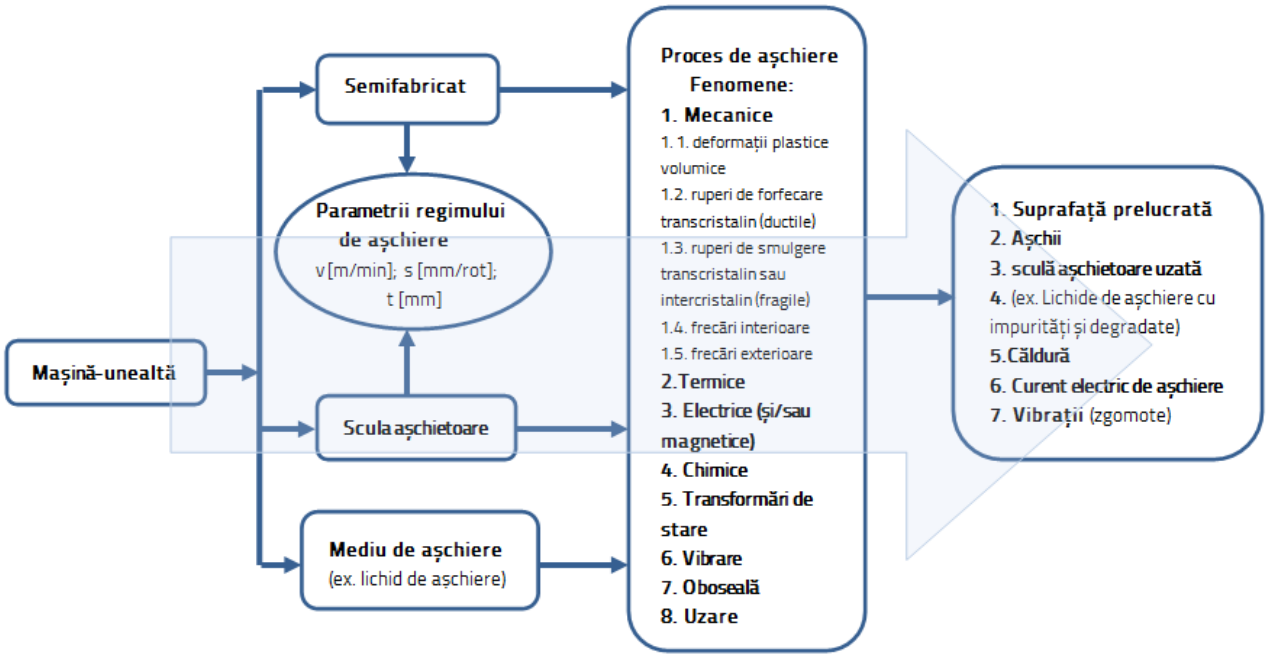


Fig. 1.4. *Schema procesului de așchiere ca sistem [DIT08]*

1.2.4. Evidențierea complexității desfășurării procesului de așchiere

Pentru ca procesul de așchiere să fie repetitiv identic este necesar ca intrările în sistem să aibe caracteristici constante. Cum sunt foarte multe caracteristici se poate spune că nici un proces de așchiere nu seamănă cu altul.

În literatura de specialitate [DIT08] se identifică caracteristicile elementelor de intrare în sistemul *Proces de așchiere* care se grupează în caracteristici ce se mențin constante în procesul de așchiere și caracteristici ce variază.

Elementele de ieșire din procesul de așchiere se pot grupa în două:

a) cu variație lentă în timp (ex. caracteristicile suprafeței prelucrate, așchiile, lichidele de așchiere, căldura, curentul electric de așchiere, uzura sculei așchietoare)

b) cu variație rapidă în timp (ex. vibrațiile).

În figura 1.5 este prezentată schema desfășurării complexe a procesului de așchiere cu interconexiunile fenomenelor, calitativ, în care [DIT08]:

VB_B – uzura tăișului așchietor pe fața de așezare; α – unghiul de așezare al sculei așchietoare; $F_{f\alpha}$ – forța de frecare pe fața de așezare a sculei așchietoare; θ – temperatura în zona de așchiere; R_i – rezistența internă de așchiere; F_t – forța totală de așchiere;
σ_r – rezistența la rupere de compresiune; HB – duritatea; R_a – rugozitatea;

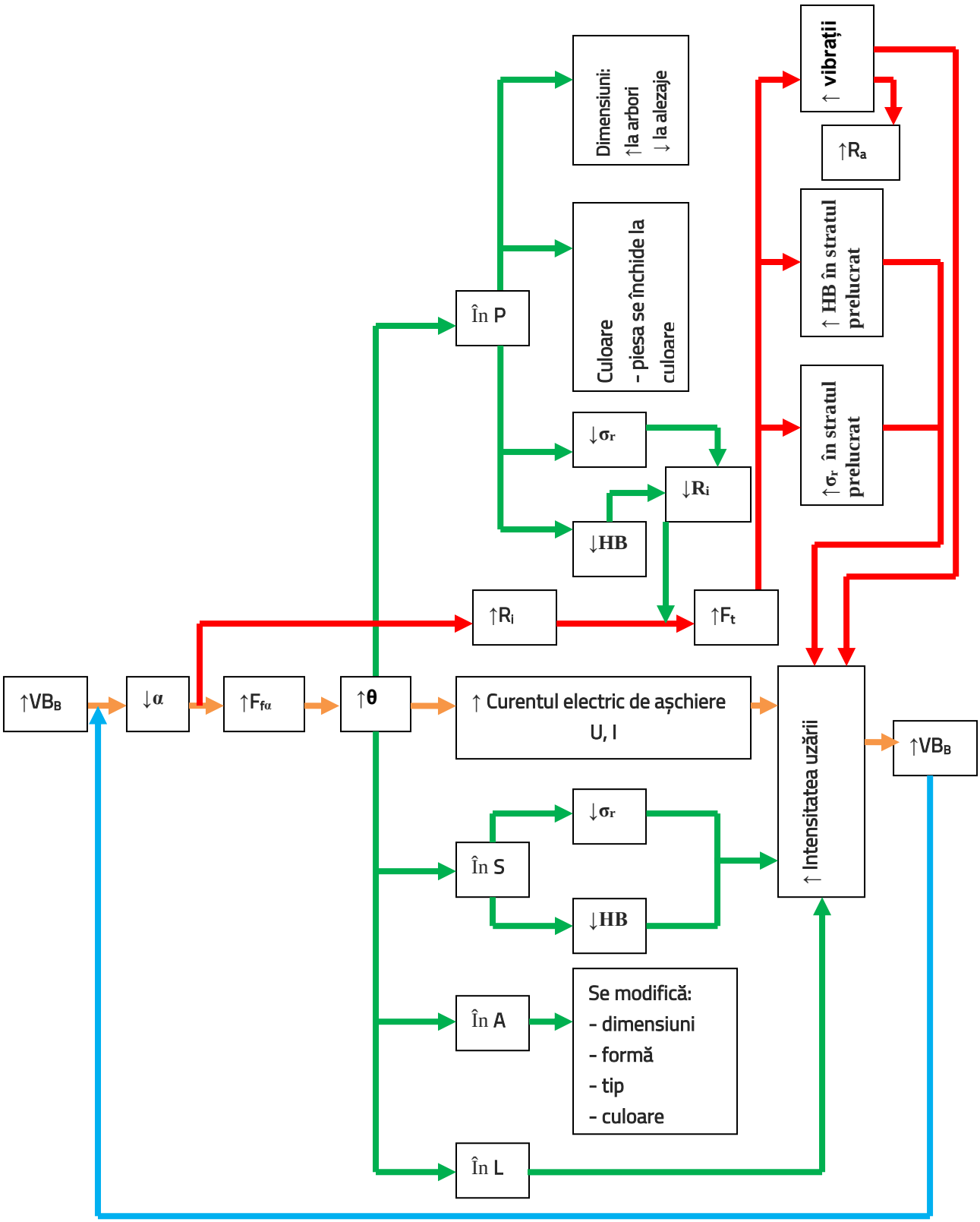


Fig. 1.5. *Schema consecințelor uzării sculei așchietoare asupra desfășurării procesului de așchiere [DIT08]*

U și I – tensiunea și intensitatea curentului electric de așchiere.

Semantică: ex. ↑VB_B – crește uzura pe fața de așezare; ↓α – scade valoarea unghiului de așezare;

P – piesă; S – sculă așchietoare; A – așchie; L – lichid de așchiere.

Modul de desfășurare al procesului de așchiere indică faptul că acesta este un sistem primar cu buclă de reacție degenerativă [DIT08]. Odată declanșat procesul de așchiere poate fi cel mult întrerupt iar degenerarea se manifestă până la uzura admisibilă a tăișului așchietor. Un nou proces de așchiere are loc odată cu reascuțirea/schimbarea tăișului sculei așchietoare.

Fenomenele ce au loc la așchiere au fost intens studiate și sunt bine semnalate de literatura de specialitate.

În cele ce urmează se detaliază două fenomene: uzura sculei așchietoare și curentul electric de așchiere, motivul fiind **alegerea lor pentru abordări inovative.**

1.3. Uzura sculei așchietoare

1.3.1. Elemente de bază

Fenomenul de uzare se referă la îndepărtarea de material de pe fețele active ale sculei în timpul procesului de aşchiere. Fenomenul de uzare are drept consecință uzura sculei aşchietoare [DIT08].

Conform ISO 3685, uzura sculelor aşchietoare poate fi clasificată în: uzura la colț, uzura pe flanc (pe fața de așezare), crestătură (uzura prin oboseală și/sau o incluziune în materialul de prelucrat) și uzura tip crater (fig. 1.6). Primele trei tipuri apar pe suprafața de așezare la contactul dintre sculă și piesa iar uzura tip crater apare pe suprafața de degajare la contactul dintre sculă și așchie.

Uzura pe flanc (pe fața de așezare) prezintă cel mai mare interes deoarece apare pe orice tip de tăiș așchietor și reprezintă criteriul utilizat în determinarea durabilității sculei.

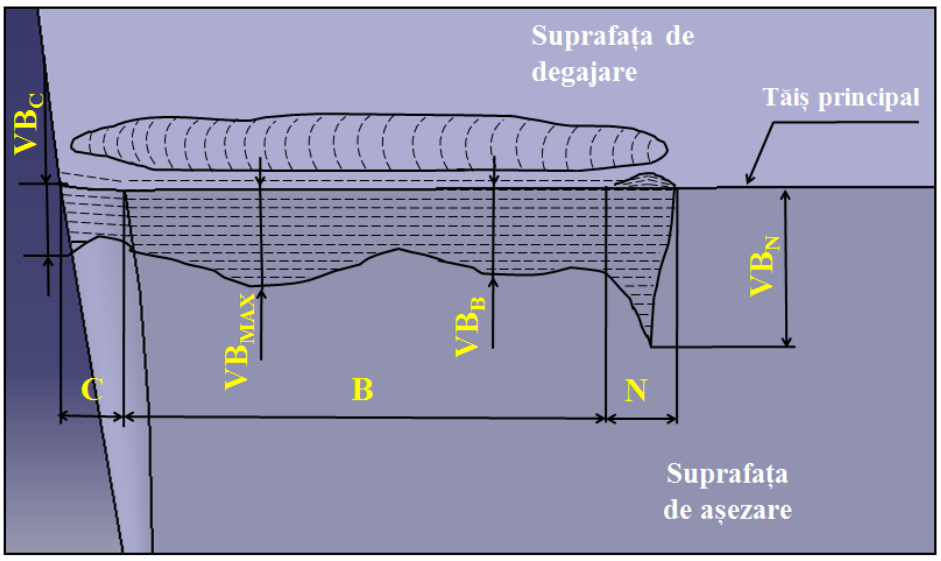


Fig. 1.6. *Caracteristicile uzurii tăișului așchietor pe fața de așezare [ISO 3685]*

Așa cum este prezentat în fig. 1.6, conform ISO 3685 (este asimilat de STAS 12046/1), partea uzată a tăișului așchietor este împărțită în trei zone:

1) zona C – uzura la colt; 2) zona B – uzura pe flanc; 3) zona N – crestătură.

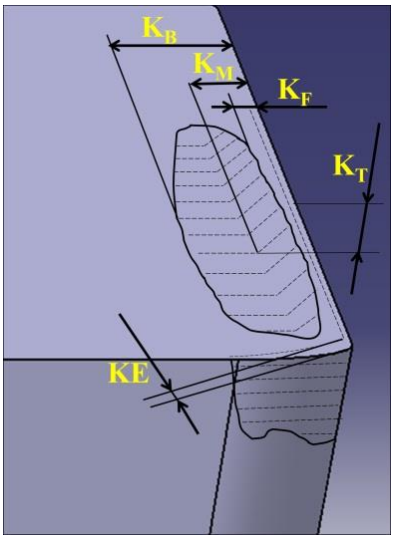
Durabilitatea sculei este determinată de doi parametri ce sunt măsurați în zona B:

1. VB_{MAX} – uzura maxima; 2. VB_B – uzura medie.

Valorile recomandate pentru uzura admisibilă sunt VB_B = 0,3 mm pentru o uzură uniformă și VB_{MAX} = 0,6 mm pentru o uzură neuniformă [SID13]. }n literatura de specialitate [DIT08] se indică pentru uzura admisibilă diverse valori, în funcție de procedeul de prelucrare, de scula așchietoare și de materialul tăișului așchietor.

Uzura tip crater apare împreună sau concomitent cu uzura pe flanc, iar caracteristicile sale sunt prezentate conform ISO 3685, în fig. 1.7, în care:

- K_T – adâncimea craterului;
- K_M – distanța dintre tăișul așchietor și cel mai adânc punct din crater;
- K_B – distanța dintre tăișul așchietor și capătul craterului;
- K_F – lățimea materialului dintre crater și tăiș;
- KE – deplasarea radială a vârfului sculei.



Evoluția uzurii în timp prezintă trei faze (fig. 1.8) [KIO10, DIT08]:

1. faza I – uzura inițială (sau uzura de început);
2. faza II – uzura normală până la atingerea uzurii admisibile;
3. faza III – uzura accelerată care poate conduce în orice moment la ruperea sculei.

La sfârșitul fazei a II-a, procesul de așchiere trebuie întrerupt pentru înlocuirea sau ascuțirea tăișului așchietor. Din acest motiv, pentru estimarea cât mai corectă a momentului apropierii de uzura admisibilă, monitorizarea evoluției uzurii sculei reprezintă un permanent domeniu de interes.

Fig. 1.7. *Caracteristicile uzurii tip crater [ISO 3685]*

Timpul de așchiere efectivă până la atingerea uzurii admisibile poartă numele de **durabilitate a sculei așchietoare**.

În funcție de obiectivele urmărite, măsurarea uzurii poate fi făcută on-line, direct pe mașina-unealtă, în timpul procesului de așchiere, sau off-line, separat sau nu, de mașina-unealtă, utilizând instrumente de măsură și control.

Metoda on-line pentru determinarea uzurii este cunoscută în literatura de specialitate sub numele TCM (Tool Condition Monitoring - monitorizarea stării sculei) și poate fi clasificată în

TCM direct și TCM indirect. TCM direct constă în măsurarea propriu-zisă a uzurii cu tăișul așchietor aflat încă pe mașina-unealtă, utilizând sisteme optice, iar TCM indirect se referă la estimarea uzurii în timpul procesului de așchiere, prin măsurarea altor factori corelați cu valoarea uzurii [DIT08].

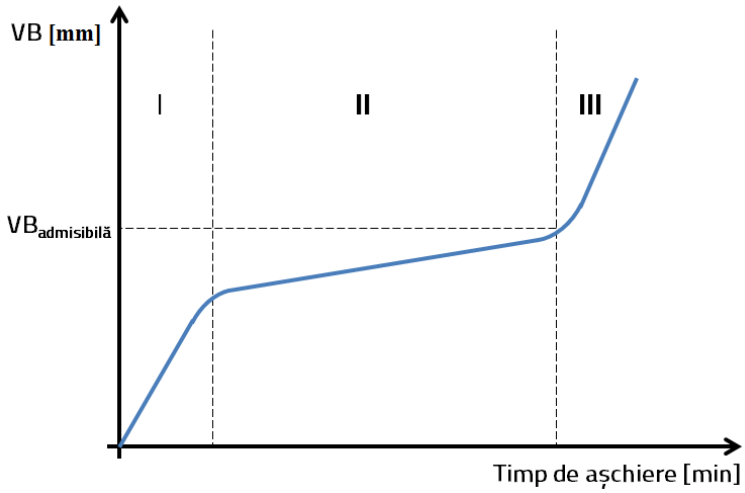


Fig. 1.8. *Evoluția uzurii în timp [KIO10]*

Măsurarea uzurii folosind metoda TCM directă este mai precisă decât cea a estimării, dar prezintă și dezavantaje. Principalul dezavantaj constă în necesitatea întreruperii procesului de așchiere pentru ca uzura să poată fi măsurată. Celelalte dezavantaje constau în faptul că tăișul trebuie să fie curățat de așchii și lichid de așchiere, iar iluminatul în interiorul mașinii-unelte ar trebui să fie unul corespunzător.

Metoda TCM indirectă se bazează pe senzori ce sunt sensibili la fenomenele din procesului de așchiere cum ar fi forța, emisia acustică (amplitudinea vibrațiilor la 1000 Hz), puterea motorului, vibrațiile în sens larg și temperatura. Analizând aceste fenomene și măsurând parametrii acestora se poate estima valoarea instantanee a uzurii tăișului așchietor dar și momentul când aceasta atinge valoarea admisibilă.

În urma consultării unui număr de 102 lucrări, în figura 1.9 se prezintă procentul lucrărilor care se referă la cele trei categorii de metode utilizate pentru măsurara uzurii.

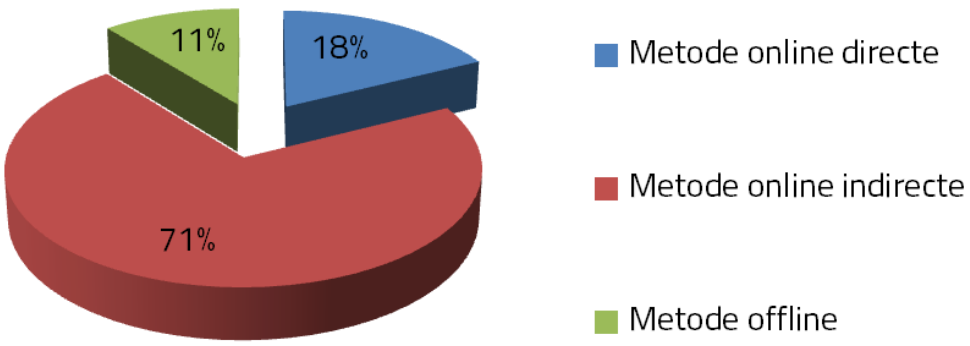


Fig. 1.9. *Procentul lucrărilor publicate în cele trei direcții din domeniul măsurarii uzurii sculelor așchietoare*

1.3.2. Metode on-line de măsurare a uzurii

A. Metode directe on-line de măsurare a uzurii

Măsurarea uzurii în timpul procesului de așchiere reprezintă o provocare pentru cercetători. Datorită lichidului de așchiere, a așchiilor și a iluminatului necorespunzător, realizarea unor măsurători precise a uzurii este dificilă, iar dacă se dorește evaluarea uzurii fără întreruperea procesului de așchiere atunci această sarcină devine și mai dificilă, dar posibilă datorită dezvoltării continue a tehnologiilor optice și de procesare a imaginilor.

Un sistem optic de măsurare este alcătuită din cameră CCD, un microscop dacă este necesar, sistem de iluminare, și un computer cu software pentru procesarea imaginilor.

Un aspect foarte important pentru a obține valori precise ale uzurii este reprezentat de sistemul de iluminare. Sunt mai multe tipuri de sisteme de iluminat cum ar fi lămpile fluorescente sau cu halogen, lumina LED, sau laser, iar utilizarea filtrelor cu infraroșu este recomandată pentru obținerea unui profil mult mai clar al uzurii [DUT14].

După ce este preluată imaginea uzurii pe flanc, sunt utilizate tehnici de procesare a imaginilor pentru îmbunătățirea clarității imaginii uzurii prin reducerea imperfecțiunilor, pentru a delimita suprafața uzată de suprafața neuzată și pentru obținerea conturului uzurii în vederea determinării caracteristicilor. Tehnicile de procesare a imaginilor folosite pentru așchiere sunt [DUT14]: interpolare, netezire, mărirea clarității, transformări în domeniul frecvenței (transformatele Fourier, Wavelet), segmentarea imaginii, analiza texturii.

În prezent sistemele optice sunt utilizate în mare parte pentru măsurătorile pe mașina-unealtă. Utilizând o camera CCD a fost dezvoltat un sistem bazat pe analiza imginilor succesive pentru o măsurare periodică a uzurii pe flanc [WAN05]. Această tehnologie a fost dezvoltată pentru operația de frezare iar imaginile flancului uzat au fost captate fără întreruperea rotației sculei, dar pentru o viteză mică. Aceeași cercetători au propus măsurarea uzurii pe flanc utilizând o camera CCD pentru obținerea de imagini binare și apoi au dezvoltat o metodă pentru detectarea automată a conturului uzurii [WAN06]. Zhang a dezvoltat un algoritm utilizând un sistem optic de măsurare directă a uzurii pentru freze, cu rezultate foarte precise, ce implică programarea sculei pentru a se opri în aceeași poziție pentru a fi curațată și pentru a măsura uzura [ZHA13]. O metodă similară a fost dezvoltată de Li ș.a. [LI13] pentru plăcuțe așchietoare și integrate într-un centru de prelucrare CNC. Malekian ș.a. au proiectat un sistem TCM ce utilizează și metoda directă și cea indirectă [MAL09]. Pentru măsurarea directă a uzurii a fost utilizat un microscop și o cameră CCD iar rezultatele au fost corelate cu alți parametrii studiați în vederea estimării stării sculei. Alte cercetări [ZHU17] au propus, pentru micro-frezare, o nouă metodă de creștere a regiunii pentru procesarea imaginilor uzurii, bazată pe analiza componentelor morfologice. De asemenea, pentru urmărirea stadiului tăișului așchietor a fost dezvoltat un sistem optic utilizând două camere CCD [SZY16].

Li și An [LI16] au propus o metodă pentru centrarea automată și segmentarea suprafeței uzate în vederea obținerii de valori precise ale uzurii pe flanc, în cazul procesului de strunjire. Tot pentru procesul de strunjire a fost măsurată uzura pe flanc a plăcuțelor așchietoare utilizând un sistem optic și tehnici de clasificare bazate pe descriptori geometrici pentru a obține trei categorii de uzură (mică, medie și mare) cu estimarea probabilității de apartenență la aceste categorii [CAS07].

Pentru a minimaliza problema utilizării lichidului de așchiere, în metoda TCM directă, s-a propus un sistem microscopic confocal fluorescent, utilizând un microscop confocal, o cameră CCD și o diodă laser pentru a induce fluorescența [TAK16].

În ceea ce privește uzura tip crater, caracteristicile sale de adâncime pot fi evaluate utilizând echipament adițional cum ar fi un microscop sau un proiector de franje paralele cu ajutorul căruia se pot obține imagini 3D. În acest scop a fost dezvoltat un sistem de măsurare a sculei [CER15a, CER15b] și un dispozitiv de prindere pentru utilizarea lor pe mașina-unealtă, utilizând un profilometru laser 2D tip Keyance. Au fost obținute imagini 3D precise ale sculei așchietoare, aceasta fiind montată pe mașină. Jurkovic ș.a. [JUR05] au dezvoltat o mașină optică formată dintr-o cameră CCD și o diodă laser cu proiector de franje pentru a măsura atât uzura pe fața de așezare cât și cea de pe fața de degajare. În alte cercetări [KAR97, NIR01] au fost dezvoltate tehnici stereo de obținere a imaginilor pentru a măsura on-line uzura tip crater.

O altă echipă de cercetare a abordat atât uzura pe flanc, cât și uzura tip crater, prin întreruperea procesului de strunjire din minut în minut pentru a capta imaginea uzurii pe flanc și pentru a măsura uzura de tip crater cu un microscop, în scopul programării unei rețele neuronale bazată pe modelul ADN-ului [DAD17].

În ceea ce privește procesul de rectificare, a fost dezvoltat un sistem de măsurare prin scanare 3D pentru măsurarea uzurii on-line, prin urmărirea schimbării geometriei suprafețelor plane ale discului abraziv. Acesta este scanat pe mașina de rectificat, dar metoda presupune întreruperea procesului [LIP14].

O altă metodă utilizată pentru monitorizarea on-line a uzurii sculei este tehnica ultrasunetelor. Abu-Zahra și Yu a îndreptat emisia de ultrasunete către scula așchietoare iar reflecția lor a condus la digitizarea uzurii pe flanc și pe vârf [ABU03]. Utilizând aceeași tehnică prin ultrasunete, într-o altă cercetare au fost urmărite caracteristicile de adâncime și lățime a uzurii tip crater [DIN09].

B. Metode indirecte on-line de măsurare a uzurii (TCM indirect)

Măsurarea on-line a uzurii folosind metode indirecte constă în monitorizarea diferitelor semnale de ieșire din procesul de așchiere care sunt corelate cu gradul de uzură al sculei. Un sistem TCM constă atât în componente hardware, cât și software și conform [SID13], componenta hardware se ocupă de achiziția semnalelor iar componenta software procesează semnalele, extrage și selectează caracteristicile și folosește, de regulă, inteligența artificială

pentru luarea deciziei. În figura 1.10, bazată pe centralizarea informațiilor din literatura de specialitate [SID13, DUT14, ZHA16, DIN96], este detaliat sintetic TCM prin metoda indirectă.

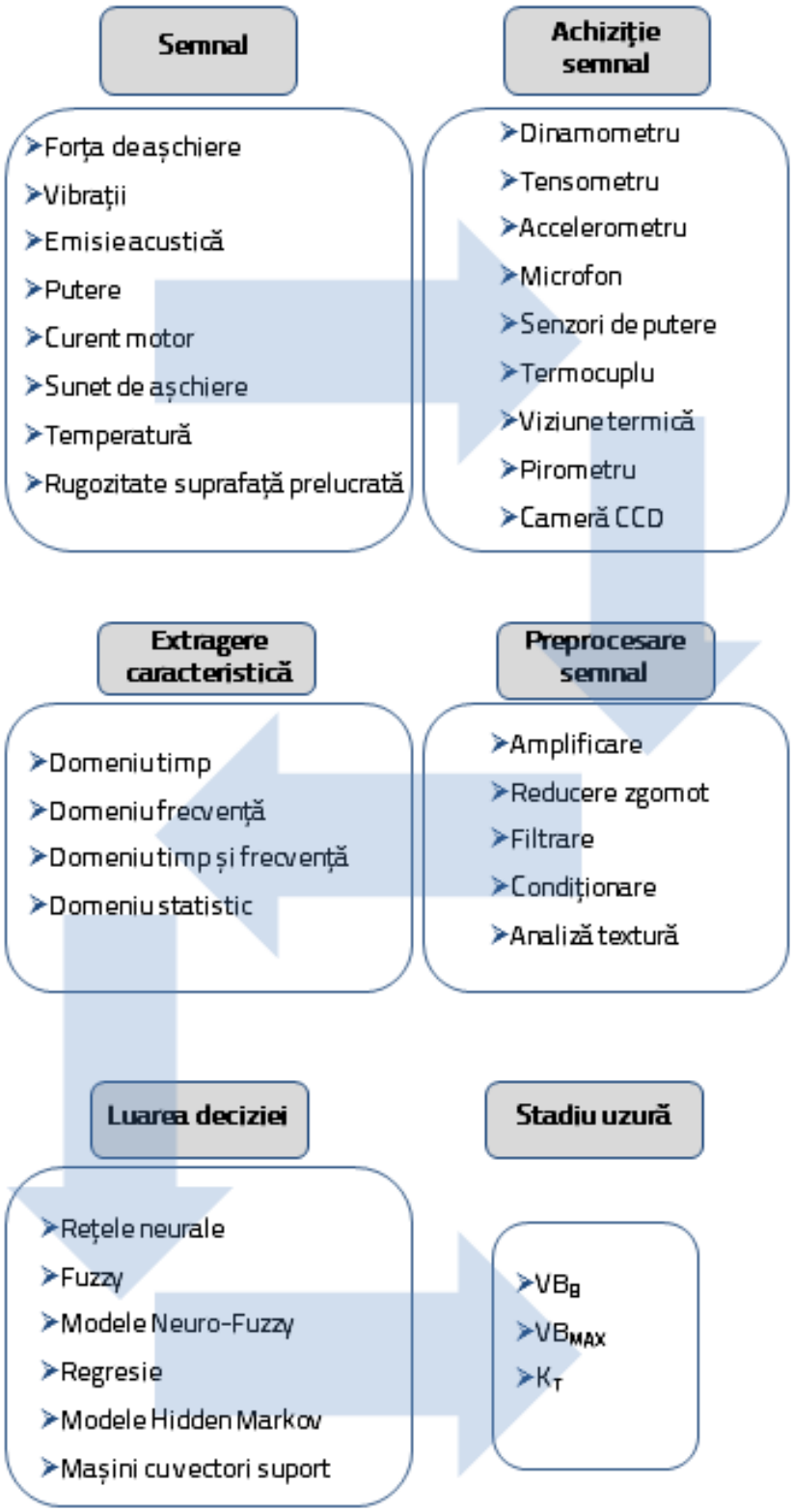


Fig. 1.10. *TCM indirect [SID13, DUT14, ZHA16]*

Pe baza bibliografiei consultate s-a calculat procentul lucrărilor publicate pentru fiecare metodă de măsurare indirectă a uzurii (73 de lucrări). Rezultatele sunt prezentate în figura 1.11.

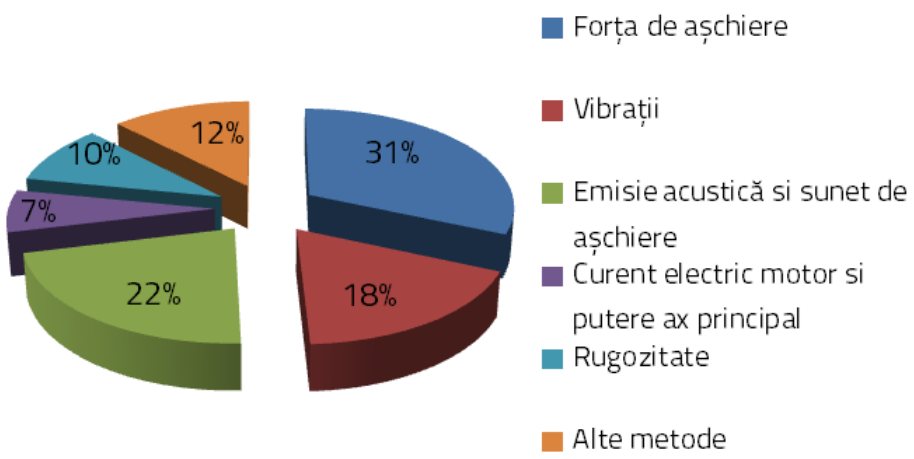


Fig. 1.11. *Procentul lucrărilor publicate pentru fiecare metodă de măsurare indirectă a uzurii sculelor așchietoare*

1.3.3. Metode off-line de măsurare a uzurii

Metodele off-line constau în măsurarea uzurii tăișului așchietor în afara procesului de așchiere, în condiții de laborator, obținându-se rezultate foarte precise.

Metodele optice sunt cele mai utilizate pentru evaluarea off-line a uzurii iar instrumentul cel mai comun pentru această măsurătoare este microscopul. Mandal ș.a. [MAN15] au utilizat un microscop stereo pentru măsurarea uzurii pe flanc și, ca o nouă abordare în acest domeniu, Su ș.a. [SU06] au dezvoltat un sistem optic pentru măsurarea automată a uzurii pe flanc la burghie, folosind un microscop și o camera CCD.

O altă metodă off-line utilizată pentru evaluarea uzurii este reprezentată de interferometria în lumină albă. Dawson și Kurfess [DAW05] au utilizat această metodă pentru a cuantifica pierderile de material prin compararea datelor obținute din imaginea 3D a uzurii suprapusă peste reprezentarea unei scule neuzate. Atât uzura crater cât și uzura pe flanc au putut fi măsurate cu succes prin această metodă. De asemenea, Devillez ș.a. [DEV04] au măsurat uzura crater utilizând interferometria în lumină albă. Uzura crater a fost măsurată prin metoda schimbării de fază, folosing proiectoare de franje paralele și au obținut o hartă 3D a plăcuței așchietoare [WAN06]. Pentru această metodă a fost utilizat un proiector de franje paralele, un microscop și o cameră CCD de pe un alt microscop, cu care se poate lucra de la distanță.

Alte cercetări sunt canalizate pe găsirea a noi metode pentru evaluarea off-line a uzurii și una din direcții este reprezentată de tehnica Reverse Engineering. În lucrarea lor, Valerga ș.a. [VAL15] au realizat modelarea 3D completă (scanare și reconstituirea geometriei) a unor scule așchietoare uzate și au observat că uzura sculei apare și pe modelele fizice obținute, dar nu au

măsurat-o. În lucrarea [CAB17] este prezentată modalitatea de folosire a acestei tehnici în măsurarea uzurii prin digitizarea plăcuței așchietoare cu un scanner laser și realizarea modelului CAD. Rezultatele au fost validate prin compararea lor cu unele obținute prin microscopul stereo.

1.4. Curentul electric de așchiere

Curentul electric de așchiere rezultă la prelucrarea materialelor metalice cu scule care au tăișuri metalice. Deși e cunoscut ca fenomen din jurul anilor 1950, utilizarea lui până de curând s-a limitat doar la aprecierea temperaturii din zona de așchiere, și aceasta în condiții de laborator. Deoarece este rezultatul așchierii materialelor metalice cu tăișuri metalice, înseamnă că poate furniza informații utile despre desfășurarea procesului de așchiere.

Având în vedere cele semnalate anterior se poate aprecia că analiza curentului electric de așchiere poate conduce la aplicații inovative în construcția de mașini, la prelucrarea prin așchiere cu tăișuri metalice a diverselor piese metalice.

1.4.1. Identificarea efectelor şi fenomenelor ce dau curent electric de aşchiere

Ținând cont de faptul că fenomenele ce au loc în procesul de așchiere au ca și consecință uzura tăișului așchietor rezultă următoarea succesiune a desfășurarii lor (conform [DAI15b]):

forțe de aşchiere → fenomene termice → fenomene electrice → uzarea tăişului aşchietor

Apariția curentului electric la așchiere se datorează efectelor Seebeck, Peltier, Thomson și fenomenului de emisie termoelectronică [DIT13].

1.4.2. Evoluția cercetărilor privind curentul electric la așchiere

Cercetările în domeniul curentului electric la așchiere se pot împărți în două perioade distincte [DAI15b]. Prima perioadă, între anii 1950-1983, se caracterizează prin studiul în sine al curentului electric la așchiere (teoretic și experimental). În a doua perioada, 1983-prezent, datorită progresului în domeniul aparaturii de măsurare a curenților electrici mici, se reiau studiile din prima perioadă și se dezvoltă noi cercetări, ținta fiind aplicabilitatea practică.

Primele cercetări ale curentului electric la așchiere, [DIT09a, BOB66], au început în 1950 în Rusia și s-au axat pe utilizarea acestuia la măsurarea temperaturii din zona de așchiere. Ulterior cercetările au abordat legăturile dintre curentul electric la așchiere (termocurent) și alți parametrii ai așchierii [BOB66, POS67, KOR68, BAG73, VAS74, VAS80], [PAL 83]. Cercetătorii ruși au efectuat mai multe cercetări experimentale privind curentul electric la așchiere concretizate în articole științifice (în limba rusă) și lucrări de disertație (în limba rusă). Faptul că

lucrările au fost scrise în limba rusă, în acea perioadă, a condus la o întârziere în cunoașterea acestora.

După 1960 au avut loc cercetări și în alte țări, precum India [BAG73].

Printre cercetătorii din prima perioadă se pot enumera: Bobrovski, Postnikov, Korobov, Bagchi, Vasiliev, Palei.

În a doua perioadă a cercetărilor, acestea se înmulțesc, ca și țările unde au loc, ca de exemplu: Rusia, Japonia, România, India, Brazilia, USA, Franța și Bangladesh.

Printre cercetătorii care apar în a doua perioadă se pot aminti: Plotnikov, Medison, Tanaka, Murata, Dițu, Gangopadhyay, Soman, Santos, Pan, El Mansori, Amin.

Procedeele de prelucrare prin așchiere la care s-au concentrat cercetările curentului electric sunt, în ordinea numărului de articole științifice, strunjirea, burghierea și frezarea.

Primele cercetări în domeniul curentului electric la așchiere (denumit și termocurent) au avut drept scop utilizarea acestuia în măsurarea temperaturii din zona de așchiere (exemplu [VAS80]). Ulterior cercetările s-au axat pe studiul influenței diverșilor factori asupra curentului electric la așchiere și pe legătura acestuia cu uzura sculei așchietoare. Factorii care influențează desfășurarea procesului de așchiere pot fi sintetizați astfel:

- regimul de așchiere (v_c - viteza de așchiere, f - avansul de așchiere, a_p - adâncimea de așchiere);
- geometria sculei așchietoare (α - unghi de așezare, γ - unghi de degajare, ε - unghi la vârf al sculei, K - unghi de atac principal, r - raza la vârf);
- cuplul format din materialul tăișului așchietor și piesa de prelucrat (amândouă trebuie să fie bune conducătoare de electricitate);
- mediul de așchiere (lichid, gazos);
- caracteristicile electrice ale mașinii-unelte (rezistența electrică).

De exemplu, în lucrarea [VAS83], este studiată influența regimului de așchiere, unde se arată influența vitezei de aşchiere asupra intensității şi tensiunii a curenților electrici la strunjirea cu t = 0,1mm şi s = 0,1mm/rot, a oțelului 45 cu plăcuțe lipite T30K4 şi T15K6 precum şi a fontei cu plăcuțe lipite tip BK3M (notații şi materiale ruseşti).

În sursa bibliografică [BAG73] s-a obținut relația 1.1 ce conține influența regimului de așchiere și a timpului de prelucrare asupra intensității curentului electric la așchiere. Experimentele s-au efectuat pe oțelul EN24 (oțel indian) utilizând la strunjire longitudinală cu o plăcuță din carbură metalică (nu sunt specificate caracteristici).

$$I = 0{,}2178 \cdot v_c^{0{,}462} \cdot f^{0{,}265} \cdot a_p^{0{,}177} \cdot \tau^{0{,}148} \quad [\mu A] \qquad (1.1)$$

în care:

v_c [m/min] - viteza de așchiere; f [μm/rot] - avansul de așchiere; a_p [μm] - adâncimea de așchiere; τ [min] - timpul de așchiere.

Relația 1.2 exemplifică influența regimului de așchiere asupra curentului electric la așchiere în cazul strunjirii oțelului OLC45 cu plăcuță SPMR 150612-P30 fixată mecanic ce are următoarea geometrie: $\alpha=5^0$, $\gamma=6^0$, $\kappa=45^0$, $r_\varepsilon=1{,}2$ mm, fără răcire [DIT08].

$$U(v,s,t) = 3{,}567 \cdot v_c^{0,306} \cdot f^{0,117} \cdot a_p^{0,097} \quad [mV] \qquad (1.2)$$

Influența geometriei sculei aşchietoare asupra curentului electric de aşchiere este exemplificată în lucrarea [VAS 83] prin unghiul γ şi raza r_ε la vârful sculei aşchietoare. Se poate constata că atât pentru unghiul γ cât şi pentru raza la vârful sculei aşchietoare r_ε variația curentului electric la așchiere prezintă un minim deci se poate determina un optim.

Influența mediului de așchiere asupra curentului electric rezultat a fost studiată de mai mulți cercetători [POS67, DIT11]. În tabelul 1.1 este exemplificată influența lichidelor de așchiere la strunjirea longitudinal a oțelului OLC45 folosind emulsie.

Tabelul 1.1. *Eficiența utilizării lichidelor de așchiere la strunjirea cu diferite viteze de așchiere [DIT11]*

C 45 ; SPMR 150612-P30; $\alpha=5^0$; $\gamma=6^0$; $\lambda=0^0$; $\chi=45^0$						
Nr. crt.	V_c [m/min]	f [mm/rot]	a_p [mm]	Fără răcire	Cu răcire	Eficiență
				U [mV]	U_R [mV]	
1	38,95	0,106	2	9,3	6,5	30,1 %
2	48,69	0,106	2	10,9	9,1	16,5 %
3	61,35	0,106	2	12,0	11,6	3,33 %
4	77,91	0,106	2	13,6	13,2	2,94 %
5	97,39	0,106	2	14,4	14,7	-2,1 %

În literatura de specialitate [POS67, DIT11] se prezintă utilizarea curentului electric la așchiere în aprecierea calității lichidelor de așchiere folosite.

Un salt calitativ din punctul de vedere al cercetărilor în domeniul curentului electric la așchiere l-a reprezentat legătura acestuia cu alte fenomene ce au loc în procesul de așchiere. Astfel se face legătura între curentul electric de așchiere și principalele caracteristici ale așchierii [DIT05].

Legătura dintre curentul electric de așchiere si temperatură a fost prima aplicație a utilizării termocurentului de așchiere și începutul cercetărilor în domeniu. S-au determinat relații de legătură de-a lungul întregii perioade de cercetare [VAS80, PAL83, STE93, DIT99, DIT10].

Una din direcțiile abordate în continuarea cercetărilor este legătura dintre curentul electric la așchiere și forța necesară așchierii. Un exemplu de legătură dintre curentul electric și

forță este arătat în sursa bibliografică [STE93], prezentată în relația 1.3, obținută în cazul strunjirii oțelului OL37 cu o plăcuță din carbură metalică P20, ce are următoarea geometrie: $\alpha = 8^0$; $\gamma = 10^0$; $\lambda = 0^0$; K= 45^0; r = 0,5 mm.

$$F_z = 33,98 \cdot v_c^{-0,506} \cdot f^{0,427} \cdot a_p^{0,871} \cdot U \quad [daN] \qquad (1.3)$$

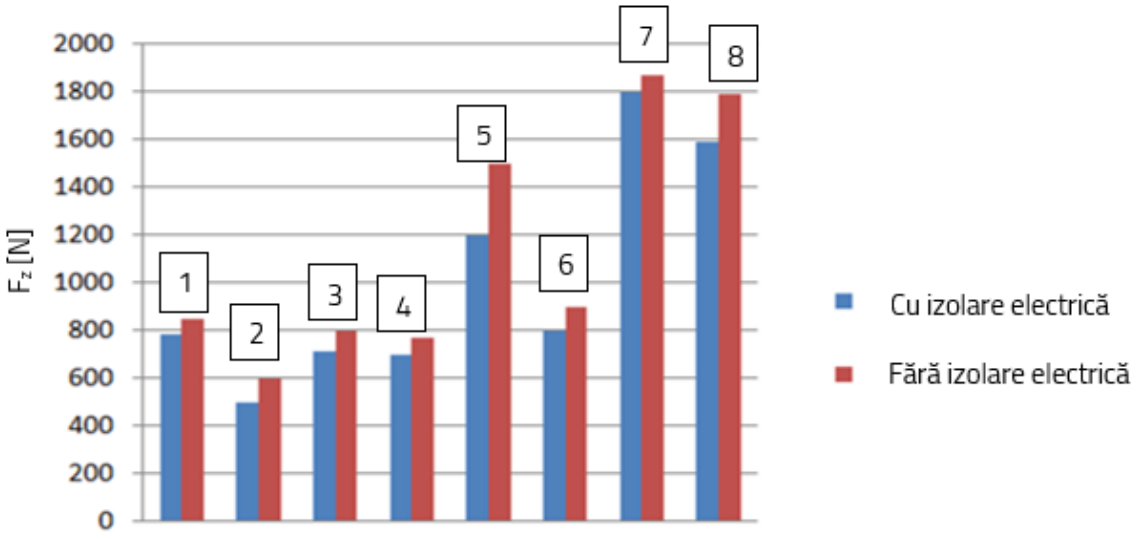
în care U [mV] - tensiunea curentului electric de așchiere.

O altă direcție importantă de continuare a cercetărilor este legătura dintre curentul electric de așchiere și uzura tăișului așchietor [KOR68, NUR98, PAN93, DIT09b].

Cea mai veche cercetare a fost efectuată de către Korobov, în anul 1968 [KOR68]. Ulterior cercetările s-au dezvoltat datorită diversității de material utilizate în construcția de mașini și a sculelor așchietoare.

Pe parcursul derulării experimentelor privind legătura dintre curentul electric de așchiere și uzura tăișului așchietor s-a constatat că termocurentul de așchiere, cu cât este mai mare, cu atât influențează mai mult intensitatea uzării în cazul în care piesa se află la anod (polul pozitiv) și scula așchietoare se află la catod (polul negativ). Dacă se izolează electric scula așchietoare sau se introduce un curent electric compensator, durabilitatea sculei așchietoare crește [BOB66, KOR68].

Lucrarea [MED14] precizează că dacă se izolează electric scula așchietoare forța necesară așchierii scade (figura 1.12).



Forța de așchiere la strunjirea aliajelor de titan VT1-0 (1, 2), OT4 (3, 4), VT6 (5, 6) Și VST5553 (7, 8), cu n = 31,5 rot/min (1, 3, 5, 7) și 250 rot/min (2, 4, 6, 8)

Fig. 1.12. *Influența întreruperii circuitului curentului electric la așchiere asupra forței de așchiere [MED14]*

Dacă majoritatea cercetărilor în domeniul curentului electric de așchiere s-au axat pe strunjire și burghiere, în ultima perioadă, acesta se studiază și la frezare [PLO09, MUR13, MUR12, MUR11, HIR98]. Astfel, în lucrarea [PLO09] se studiază o aplicație industrială a curentului de așchiere rezultat la frezare. Pe o mașină cu comandă numerică, la începutul prelucrării, se măsoară curentul electric pentru fiecare dinte al frezei. După o schemă logică se calculează viteza optimă de prelucrare astfel încât dinții să se uzeze uniform, în același timp.

Până în prezent s-au realizat foarte puține aplicații industriale utilizând curentul electric de așchiere. Posibilele aplicații industriale studiate în lucrări științifice sunt sintetizate în figura 1.13.

Pe parcursul derulării cercetărilor în domeniul curentului electric la așchiere, constatându-se că acesta, cu cât este mai mare, cu atât influențează mai mult intensitatea uzării în cazul în care piesa se află la anod (polul pozitiv) și scula așchietoare se află la catod (polul negativ), s-a încercat utilizarea unui curent electric compensator pentru a elimina influența negativă a curentului electric de așchiere. De aici a venit ideea studierii desfășurării așchierii prin introducerea intenționată a unui curent electric exterior [TAN04, GAN06, TAN09, SOM14].

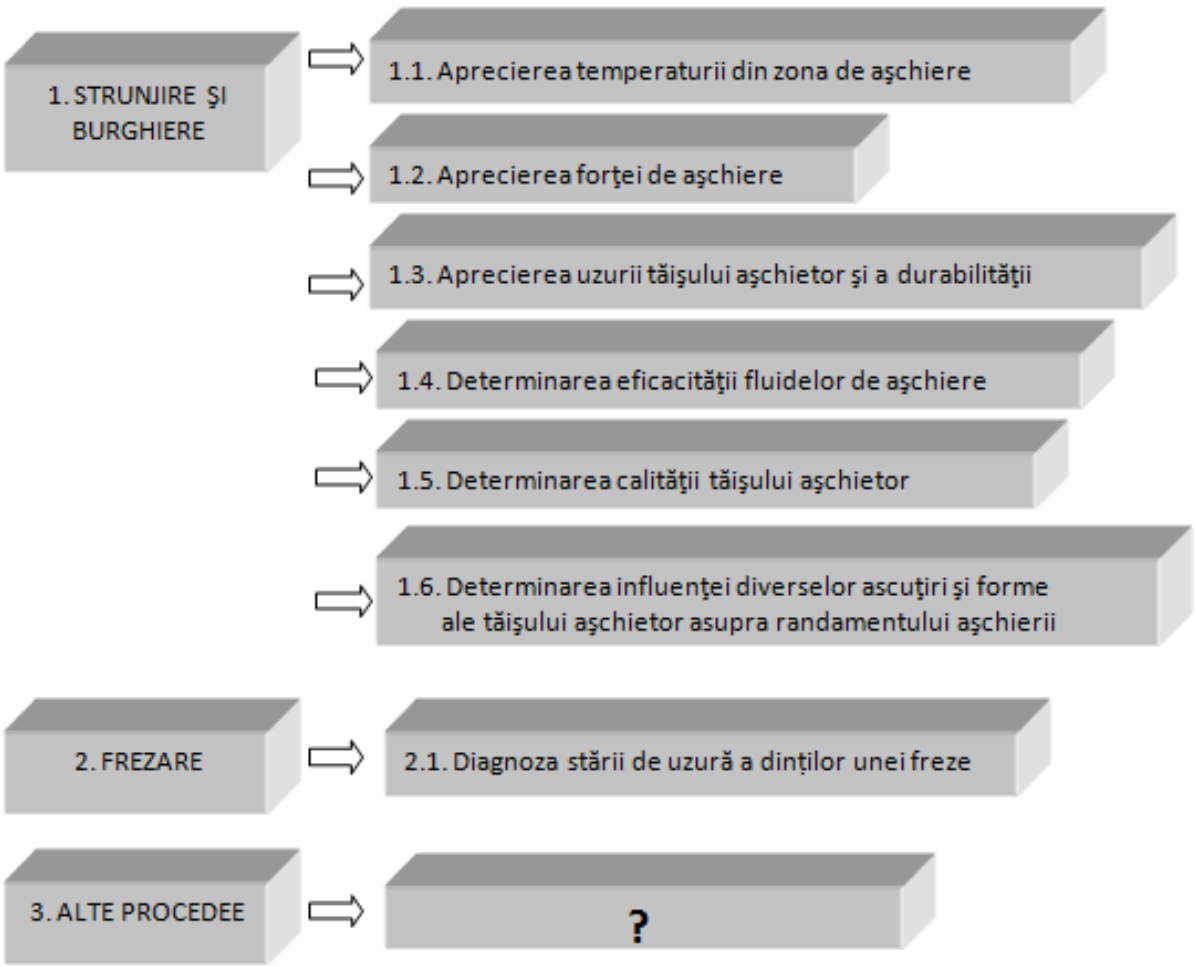


Fig. 1.13. *Posibile aplicații ale curentului electric de așchiere studiate până în prezent [DAI15, DIT08]*

1.5. Concluzii

1.5.1. Concluzii privind uzura sculei așchietoare

Evaluarea uzurii sculei așchietoare reprezintă obiectivul principal al oricărui producător de scule așchietoare. Apariția de noi materiale pentru tăișul așchietor conduce, în mod automat, la studiul uzurii acestora în procesul de așchiere. Fiind elementul hotărâtor pentru scula așchietoare, cercetările au fost și sunt intense, atât pentru măsurarea uzurii pentru cercetări, cât și supravegherea acesteia în industrie, în special pe mașini cu comandă numerică.

Din literatura de specialitate studiată se constată următoarele:

- cercetările sunt concentrate pe măsurarea uzurii atât on-line, cât și off-line;
- procentul cercetărilor este mai mare în direcția măsurării uzurii on-line deoarece acestea au drept țintă implementarea pe mașini-unelte cu comandă numerică;
- chiar dacă deocamdată ponderea cercetărilor privind măsurarea indirectă a uzurii on-line este mai mare se constată o intensificare a cercetărilor pentru măsurarea directă a uzurii, în mod on-line;
- se dezvoltă, în continuare, cercetări pentru măsurarea directă a uzurii off-line datorită utilizării în laboratoare de cercetare atât la apariția de noi scule așchietoare cât și la utilizarea de noi materiale și acoperiri pentru scule așchietoare;
- nu s-a identificat, în literatura de specialitate studiată, o metodologie pentru măsurarea uzurii medii pe flancul (suprafața de așezare) a sculei așchietoare;
- apariția de noi echipamente de măsură determină și utilizarea acestora la măsurarea uzurii;
- nu s-a identificat, în literatura tehnică studiată, modul de determinare a erorii umane de măsurare a uzurii pe flancul (pe suprafața de așezare) tăișului așchietor;
- privitor la metodele directe on-line, tendința cercetărilor este axată pe utilizarea de noi tehnologii optice, mai precise, pentru a capta imaginea uzurii în timpul procesului de așchiere și pe dezvoltarea de noi metode eficiente de prelucrare a imaginilor;
- cu privire la metodele indirecte on-line, cele mai recente cercetări nu se concentrează pe găsirea unor noi fenomene care să fie corelate cu uzura sau pe dezvoltarea de noi senzori, deoarece cele utilizate până acum sunt încă considerate adecvate pentru monitorizarea stării sculelor așchietoare; cercetările sunt orientate atât pe dezvoltarea modelelor matematice de caracterizare a uzurii, pe găsirea celor mai bune metode de procesare a semnalului achiziționat din timpul procesului de așchiere, cât și pe dezvoltarea algoritmilor de luare a deciziilor;
- în ceea ce privește măsurarea off-line a uzurii sculelor așchietoare a fost abordată o nouă metodă, Reverse Engineering, în care tehnologia de scanare 3D a devenit din ce în ce mai performantă; cercetările efectuate măsoară uzura după post-procesarea norului de puncte și elaborarea modelului CAD; necesitatea acoperirii plăcuței cu pudra anti-reflexie și faptul că echipamentul nu este destul de precis pentru acest tip de aplicație, face această

măsurare dificilă, în special pentru valori mici ale uzurii; se impune găsirea unei alte metodologii de scanare a uzurii care să pună în valoare precizia de măsurare a echipamentului.

1.5.2. Concluzii privind curentul electric de așchiere

Cercetările privind curentul electric de așchiere se pot grupa în două perioade distincte (fig. 1.14).

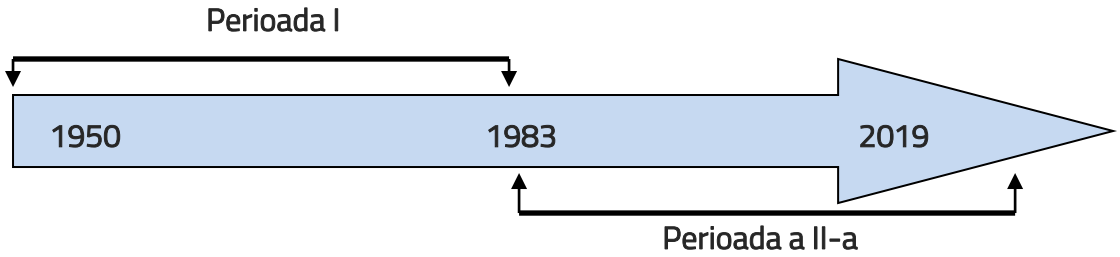


Fig. 1.14. *Gruparea cercetărilor privind curentul electric de așchiere*

Perioada I:

- cercetările au început în Rusia (anul 1950), iar în India au început în 1960;
- cercetători: Bobrovski, Postnikov, Korobov, Bagchi, Vasiliev, Palei;
- cercetările s-au concentrat pe utilizarea curentului electric de așchiere pentru măsurarea temperaturii în zona de așchiere;
- au fost determinate relații între parametrii curentului electric de așchiere (în special tensiunea acestuia) și parametrii regimului de așchiere la diverse cupluri tăiș așchietor – material de prelucrat.

Perioada a II-a:

- cercetările au continuat în Rusia, Japonia, România, India, Brazilia, SUA, Franța, Polonia și Bangladesh;
- cercetători: Plotnikov, Medison, Tanaka, Murata, Dițu, Gangopadhyay, Soman, Santos, Pan, El Mansori, Amin;
- cercetările din prima perioadă au fost reluate, dezvoltate și pentru alte procedee de prelucrare prin așchiere (ex. frezare);
- s-au semnalat aplicații practice, altele în afară de măsurarea temperaturii, dar fără a se elabora metode practice, aplicabile la scară industrială; se pot enumera câteva aplicații ce pot fi dezvoltate atât în laborator, cât și în industrie, cum ar fi: echipamente pentru aprecierea eficacității utilizării lichidelor de așchiere, pentru estimarea forțelor de așchiere fără utilizarea dinamometrelor, pentru aprecierea calității tăișurilor așchietoare;
- metoda aprecierii calității tăișurilor așchietoare utilizând curentul electric de așchiere are potențial de a fi implementată rapid și simplu în practică.

Capitolul 2
OBIECTIVELE TEZEI DE DOCTORAT

Obiectivele tezei de doctorat s-au elaborat pe baza concluziilor din capitolul 1, ***Stadiul actual al cercetărilor privind fenomene la așchierea metalelor ce pot fi abordate inovativ***.

S-au stabilit 10 obiective pe trei direcții de cercetare.

1. Direcția *Uzura sculei așchietoare*

1.1. Elaborarea unei metodologii de măsurare a uzurii plăcuțelor așchietoare;

1.2. Determinarea erorii de măsurare a uzurii;

1.3. Măsurarea uzurii plăcuțelor așchietoare prin scanare;

1.4. Măsurarea uzurii plăcuțelor așchietoare utilizând profilometrul digital;

1.5. Măsurarea uzurii plăcuțelor așchietoare utilizând microscopul digital.

2. Direcția *Curentul electric la burghiere*

2.1. Metodă inovativă de apreciere a calității burghielor cu evidențierea aspectului ecologic;

2.2. Metodă inovativă de achiziționare a burghielor;

2.3. Alte abordări inovative la burghiere.

3. Direcția *Curentul electric la strunjire*

3.1. Influența regimului de așchiere asupra tensiunii curentului electric de așchiere la strunjire;

3.2. Aprecierea calității plăcuțelor așchietoare acoperite.

Obiectivele tezei de doctorat sunt arătate și sub forma unei organigrame (fig. 2.1).

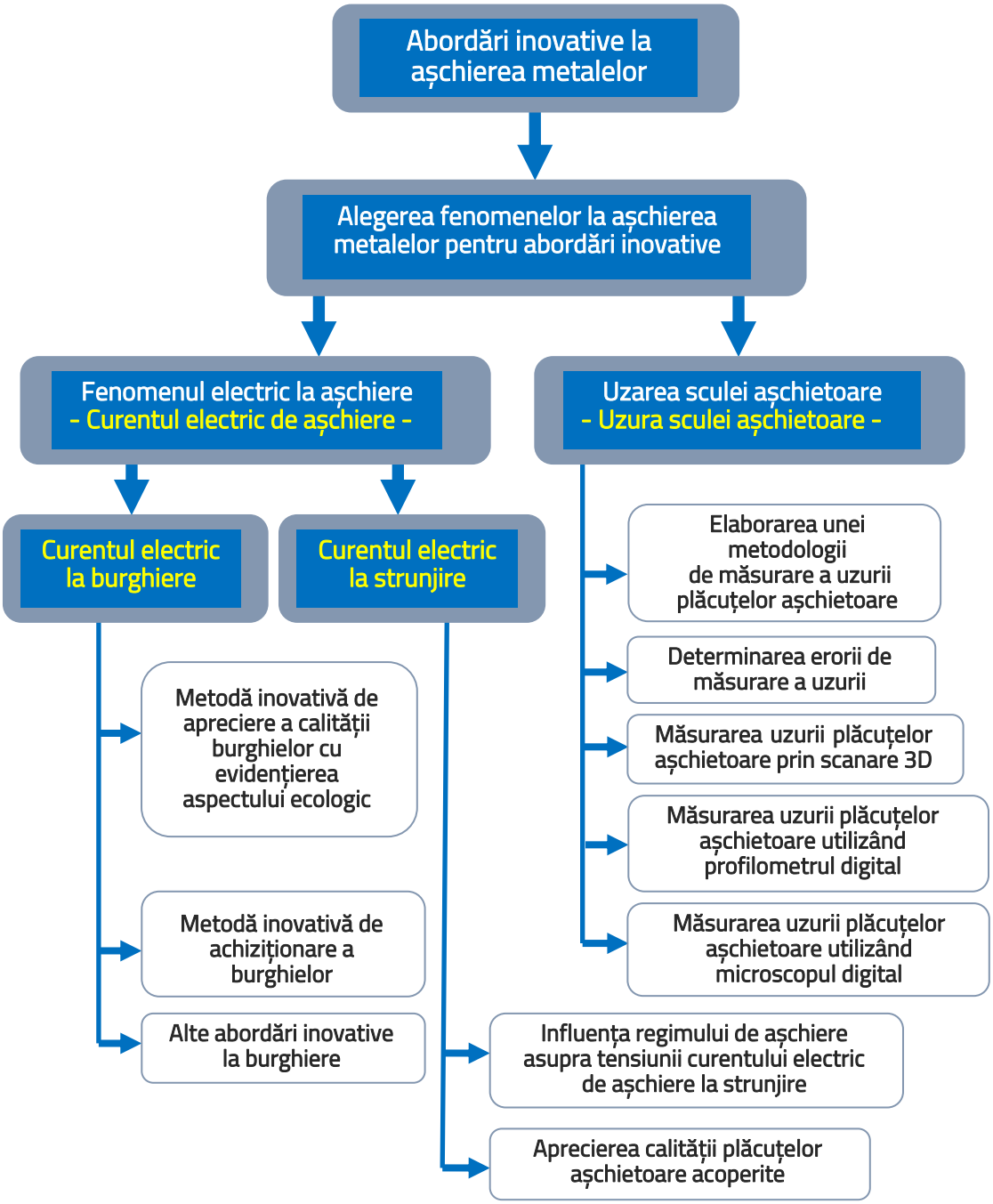


Fig. 2.1. *Organigrama obiectivelor tezei de doctorat*

Capitolul 3
METODE ȘI MIJLOACE ALTERNATIVE PENTRU MĂSURAREA UZURII PLĂCUȚELOR AȘCHIETOARE

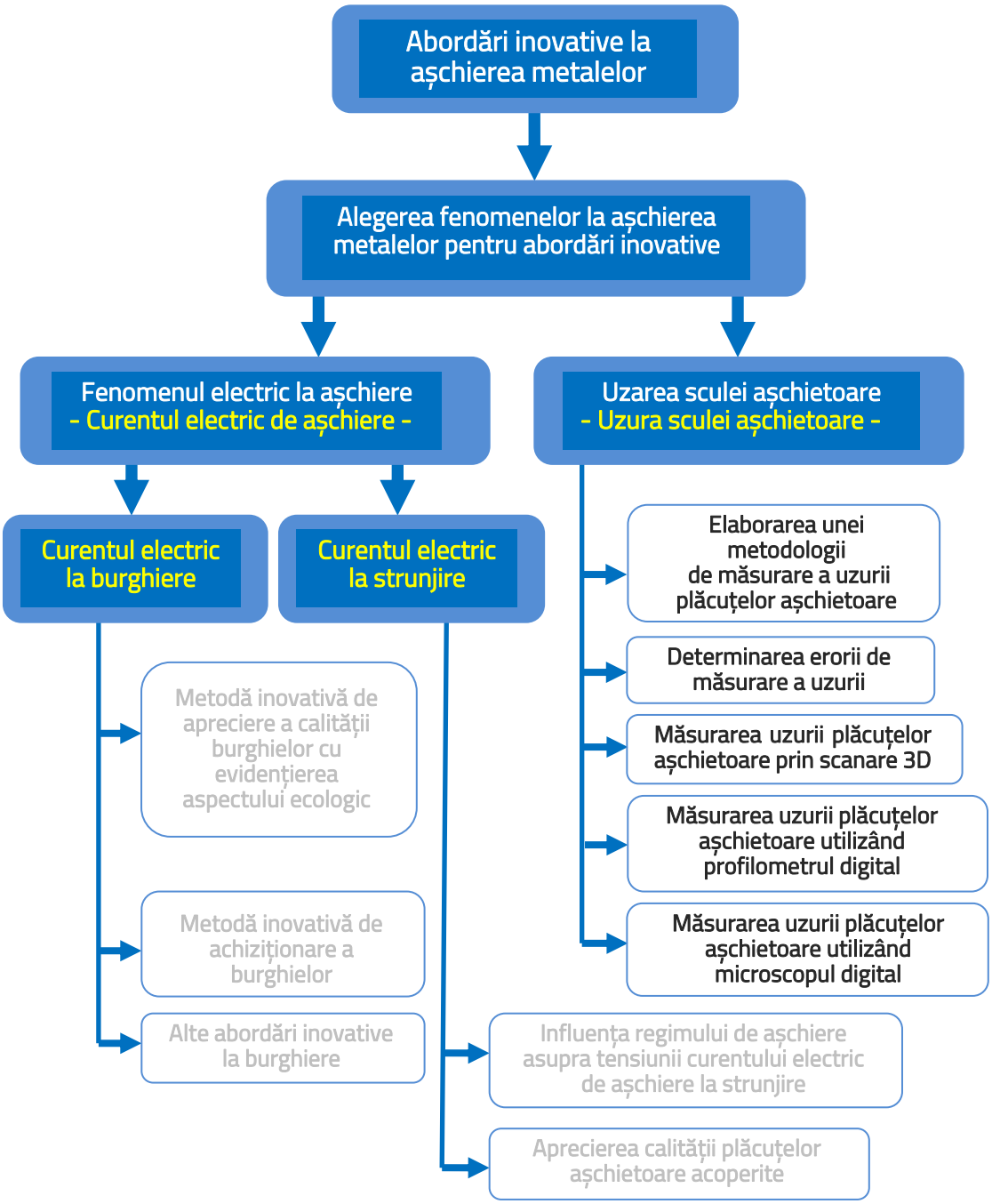


Fig. 3.1. *Organigrama capitolului 3*

Aprecierea uzurii sculei aşchietoare reprezintă o necesitate atât în producție, cât și în cercetare iar măsurarea cu exactitate, în mod direct, mai ales în cercetare, se realiza cu microscopul industrial, precizia acestuia fiind de 0,01 mm. Dezvoltarea aparaturii de măsurare în construcția de mașini a condus la creșterea performanțelor sistemelor de măsurare. Nu a făcut excepție nici microscopul industrial, precizia de măsurare a acestuia îmbunătățindu-se de 10 ori (0,001 mm).

Au fost dezvoltate noi instrumente de măsurare, cu destinație diversă, printre acestea numărându-se scanerul 3D (afișaj 0,001 mm), profilometrul digital 2D (afișaj 0,0001 mm) și microscopul digital 3D (afișaj 0,001 μm), instrumente ce nu au fost create special pentru măsurarea uzurii sculelor aşchietoare. Scopul acestui capitol (fig. 3.1) este să se elaboreze o metodologie unitară de măsurare a uzurii și totodată să se măsoare uzura, comparativ, cu noi sisteme de măsurare.

3.1. Elaborarea unei metodologii de măsurare a uzurii plăcuțelor aşchietoare

Dacă caracteristicile uzurii tăișului aşchietor la strunjire și notațiile corespunzătoare sunt bine reglementate în standardul internațional ISO 3685/1993 (revizuit în 2017), nu același lucru se poate spune și despre metodologia de măsurare, aceasta fiind lăsată pe seama cercetătorilor. Datorită lipsei de metodologie, mai ales la determinarea uzurii medii pe fața de așezare (figura 3.2), la aprecierea aceleiași uzuri s-au obținut rezultate diferite când măsurarea s-a efectuat de doi operatori diferiți.

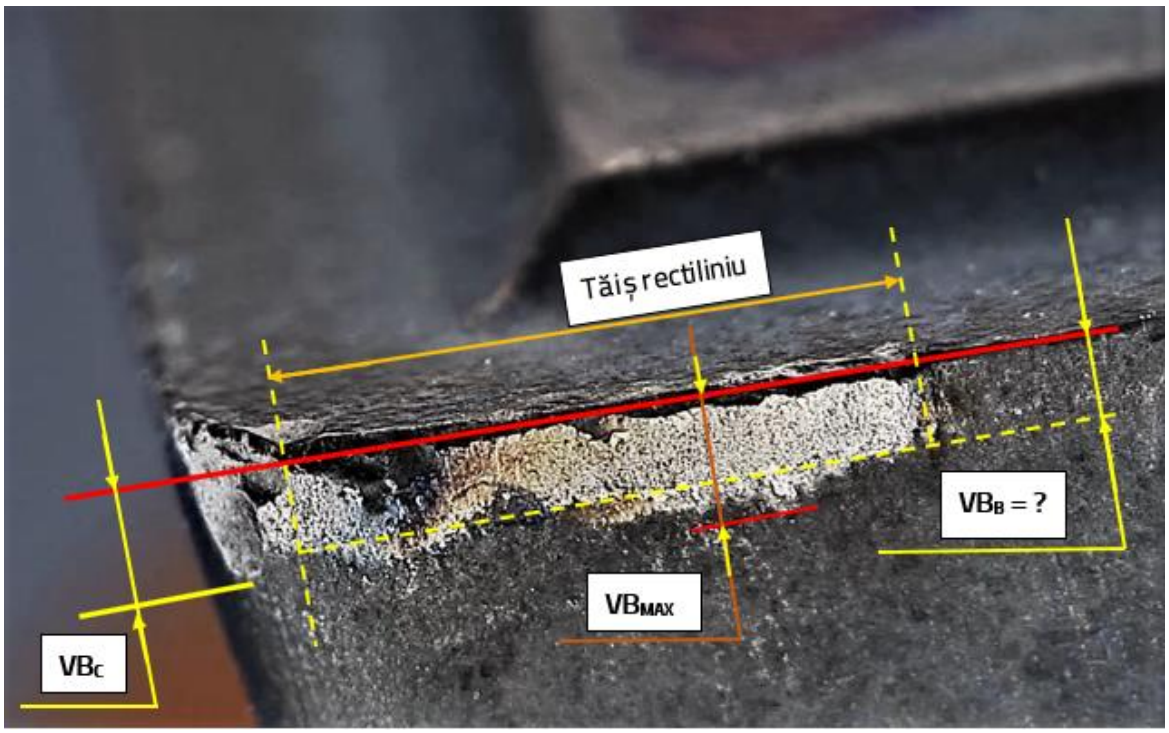


Fig. 3.2. *Caracteristicile uzurii la tăișul nr. 1 (microscop digital 3D) [ISO 3685/1993 (revizuit în 2017)]*

În acest subcapitol se prezintă modul în care se elaborează o metodologie unitară de măsurare a uzurii pe fața de așezare a sculei așchietoare astfel încât, aplicată corect, să conducă la obținerea unor valori extrem de apropiate la măsurarea aceleiași uzuri de către doi sau mai mulți operatori diferiți.

Metodologia propune o măsurare incrementală a uzurii pe fața de așezare a tăișului așchietor. În acest scop s-a ales tăișul la care uzura are un grad mare de neuniformitate (fig. 3.3), fiind mai dificilă măsurarea ei.

Pentru a determina pasul de măsurare s-au parcurs următoarele etape [DAI19]:

1. S-a strunjit cu tăișul nr. 1 de la o plăcuță din carbură metalică tip SPMR150612-P30 (fig. 3.4) o epruvetă de Ø50 și l = 300 mm, din C45 (caracteristici conform anexei 1), cu viteza de așchiere de 98,96 m/min (n = 630 rot/min), cu un avans de 0,208 mm/rot și o adâncime de așchiere de 2,25 mm. Suportul port cuțit (prindere cu bridă a plăcuței patrate care are 4 tăișuri) a determinat un unghi de așezare de 5^0 și un unghi de degajare tot de 5^0. Cu ajutorul microscopului 2D optico-digital TM-1005B Mitutoyo (figura 3.5), cu precizia de 0,001 mm, s-a măsurat cota $M = 3{,}095$ *mm* (fig. 3.6). Pe baza schemei din figura 3.6 s-a determinat lungimea uzată a tăișului rectiliniu ($L_x = 2{,}705$ *mm*) și adâncimea de așchiere reală ($a_p = 2{,}264$ *mm*);

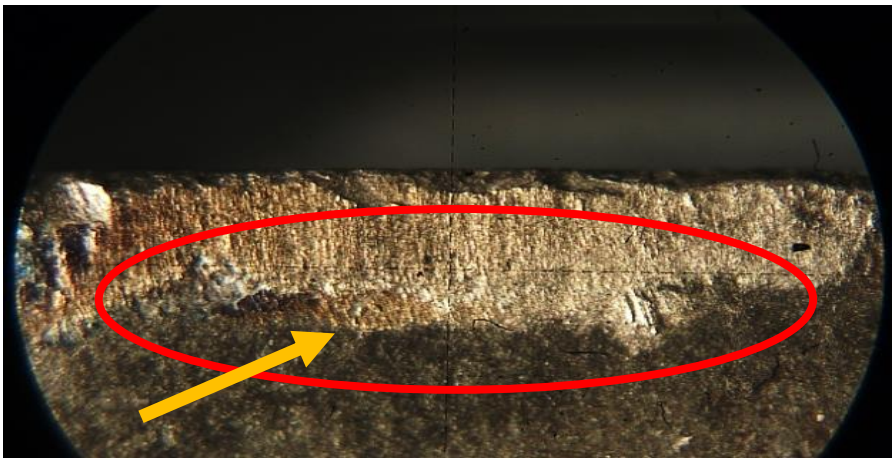


Fig. 3.3. *Imaginea la microscopul optico-digital 2D a uzurii pe flanc la tăișul nr. 1 [DAI19]*

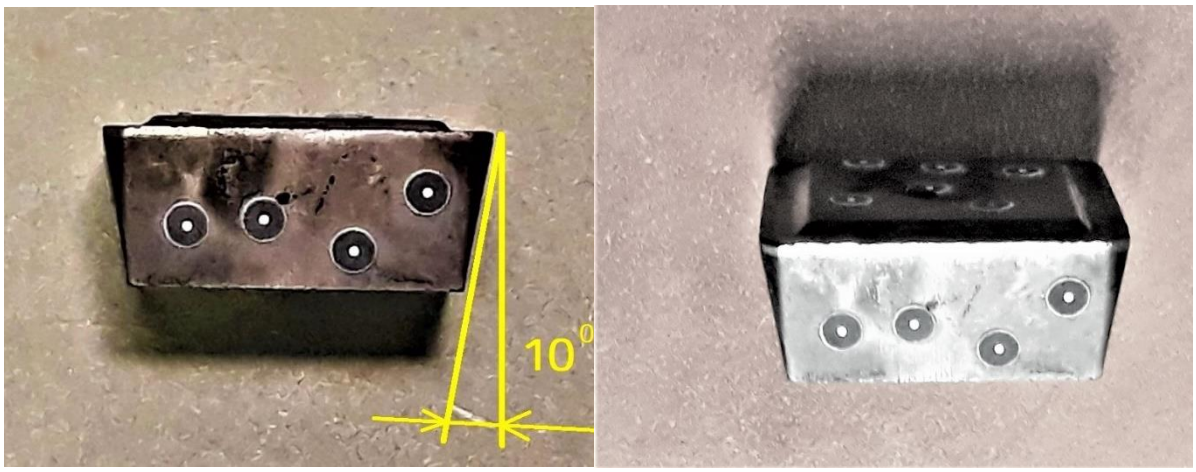


Fig. 3.4.*Plăcuță din carbură metalică tip SPMR150612-P30*

2. S-au ales 8 valori (în milimetri) diferite pentru pasul de măsurare:

0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2 mm.

3. S-a determinat numărul punctelor de măsurare a uzurii cu relația (L_x/p + 1) și la un p = 0,025 mm a rezultat un număr de 109 puncte; în cele 109 puncte s-a măsurat uzura tăișului nr. 1; la fel s-a procedat pentru toate de mai sus, obținându-se rezultatele din tabelul 3.1.

Fig. 3.5. *Microscop optico-digital 2D pentru măsurarea uzurii sculei așchietoare [DAI19]*

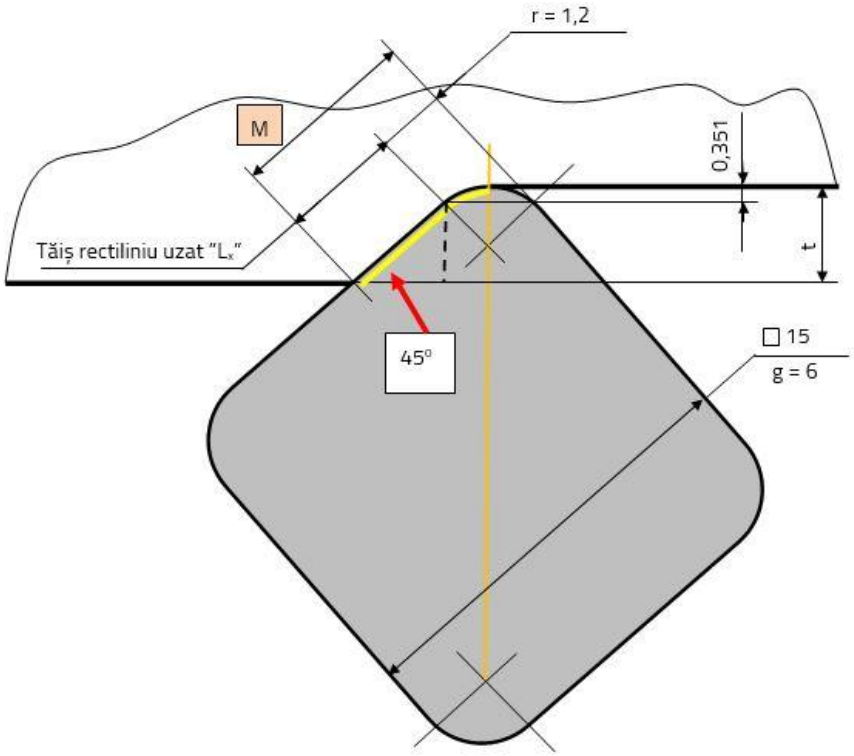


Fig. 3.6. *Schema de calcul a lungimii tăișului rectiliniu uzat și a adâncimii reale de așchiere prin măsurarea cotei M*

În figura 3.5 se poate în vedea că pentru a măsura uzura (fig. 3.3) plăcuța așchietoare trebuie așezată înclinat cu 15^0. Dacă pe masa orizontală a microscopului plăcuța așchietoare se poziționează pe o față de așezare, valorile măsurate trebuiesc corectate cu $1/\cos(15^0)$.

Tabel 3.1. *Valori măsurate ale uzurii pe fața de așezare la tăișul nr. 1 [DAI19]*

Nr. crt.	Pasul punctelor de măsurare [mm]	Valori măsurate ale uzurii [mm]	Uzura medie VB_B [mm]	Procentaj uzură medie față de p = 0,025 mm [%]
1	0,025 (109 pt)	0,372; 0,378; 0,434; 0,432; 0,450; 0,431; 0,441; 0,446; 0,459; 0,447; 0,462; 0,468; 0,472; 0,459; 0,464; 0,456; 0,458; 0,459; 0,480; 0,486; 0,483; 0,516; 0,535; 0,553; 0,559; 0,587; 0,615; 0,638; 0,652; 0,676; 0,684; 0,692; 0,686; 0,642; 0,631; 0,585; 0,595; 0,615; 0,610; 0,595; 0,596; 0,577; 0,591; 0,598; 0,608; 0,606; 0,613; 0,618; 0,624; 0,594; 0,582; 0,594; 0,599; 0,579; 0,584; 0,582; 0,598; 0,579; 0,591; 0,603; 0,604; 0,587; 0,591; 0,614; 0,619; 0,594; 0,590; 0,592; 0,593; 0,560; 0,533; 0,561; 0,563; 0,562; 0,566; 0,565; 0,570; 0,572; 0,567; 0,540; 0,543; 0,519; 0,504; 0,460; 0,458; 0,441; 0,436; 0,433; 0,451; 0,463; 0,469; 0,497; 0,499; 0,523; 0,551; 0,569; 0,585; 0,611; 0,621; 0,639; 0,643; 0,662; 0,658; 0,650; 0,643; 0,640; 0,639; 0,652; 0,654	0,56155	100
2	0,05 (55 pt)	0,372; 0,434; 0,450; 0,441; 0,459; 0,462; 0,472; 0,464; 0,458; 0,480; 0,483; 0,535; 0,559; 0,615; 0,652; 0,684; 0,686; 0,631; 0,595; 0,610; 0,596; 0,591; 0,608; 0,613; 0,624; 0,582; 0,599; 0,584; 0,598; 0,591; 0,604; 0,591; 0,619; 0,590; 0,593; 0,533; 0,563; 0,566; 0,570; 0,567; 0,543; 0,504; 0,458; 0,436; 0,451; 0,469; 0,499; 0,551; 0,585; 0,621; 0,643; 0,658; 0,643; 0,639; 0,654	0,5578	99,33

3	0,075 (37 pt)	0,372; 0,432; 0,441; 0,447; 0,472; 0,456; 0,480; 0,516; 0,559; 0,638; 0,684; 0,642; 0,595; 0,595; 0,591; 0,606; 0,624; 0,594; 0,584; 0,579; 0,604; 0,614; 0,590; 0,560; 0,563; 0,565; 0,567; 0,519; 0,458; 0,433; 0,469; 0,523; 0,585; 0,639; 0,658; 0,640; 0,654	0,5554	98,90
4	0,1 (28 pt)	0,372; 0,450; 0,459; 0,472; 0,458; 0,483; 0,559; 0,652; 0,686; 0,595; 0,596; 0,608; 0,624; 0,599; 0,598; 0,604; 0,619; 0,593; 0,563; 0,570; 0,543; 0,458; 0,451; 0,499; 0,585; 0,643; 0,643; 0,654	0,5584	99,44
5	0,125 (22 pt)	0,372; 0,431; 0,462; 0,456; 0,483; 0,587; 0,684; 0,585; 0,596; 0,606; 0,582; 0,585; 0,604; 0,594; 0,533; 0,565; 0,543; 0,441; 0,469; 0,569; 0,643; 0,640	0,5467	97,36
6	0,15 (19 pt)	0,372; 0,441; 0,472; 0,480; 0,559; 0,684; 0,595; 0,591; 0,624; 0,584; 0,604; 0,590; 0,563; 0,567; 0,458; 0,469; 0,585; 0,658; 0,654	0,5553	98,89
7	0,175 (16 pt)	0,372; 0,466; 0,464; 0,516; 0,652; 0,585; 0,591; 0,594; 0,598; 0,614; 0,533; 0,572; 0,458; 0,497; 0,621; 0,640	0,5483	97,64
8	0,2 (14 pt)	0,372; 0,459; 0,458; 0,559; 0,686; 0,596; 0,624; 0,598; 0,619; 0,563; 0,543; 0,451; 0,585; 0,643	0,5540	98,66
9	0,25 (11 pt)	0,372; 0,462; 0,483; 0,684; 0,596; 0,582; 0,604; 0,533; 0,543; 0,469;0,643	0,5428	96,66
10	0,3	0,372; 0,472; 0,559; 0,595; 0,624; 0,604; 0,563; 0,458; 0,585; 0,654	0,5486	97,69
11	0,4 (10 pt)	0,372; 0,458; 0,686; 0,624; 0,619; 0,543; 0,585	0,5553	98,89
12	0,5 (6 pt)	0,372; 0,483; 0,596; 0,604; 0,543; 0,643	0,5402	96,20

Datele din tabelul 3.1 sunt reprezentate grafic în figura 3.7.

Se impune ca media valorilor pentru un anumit pas să fie minim 99% din media valorilor pentru pasul cel mai mic (p = 0,025 mm). Măsurătorile realizate cu un pas de 0,1 mm aproximează cel mai bine măsurătorile realizate cu un pas de 0,025 mm. În acest fel, în loc de măsurarea a109

puncte se pot face măsurători doar în 28 de puncte iar procentajul la valoarea medie este de 99,44% din valoarea medie a măsurătorilor realizate cu pasul de 0,025 mm [DAI19].

Astfel, metodologia pentru evaluarea uzurii pe flanc propune o măsurare incrementală a uzurii, descrisă în 5 etape, sintetizate în figura 3.8.

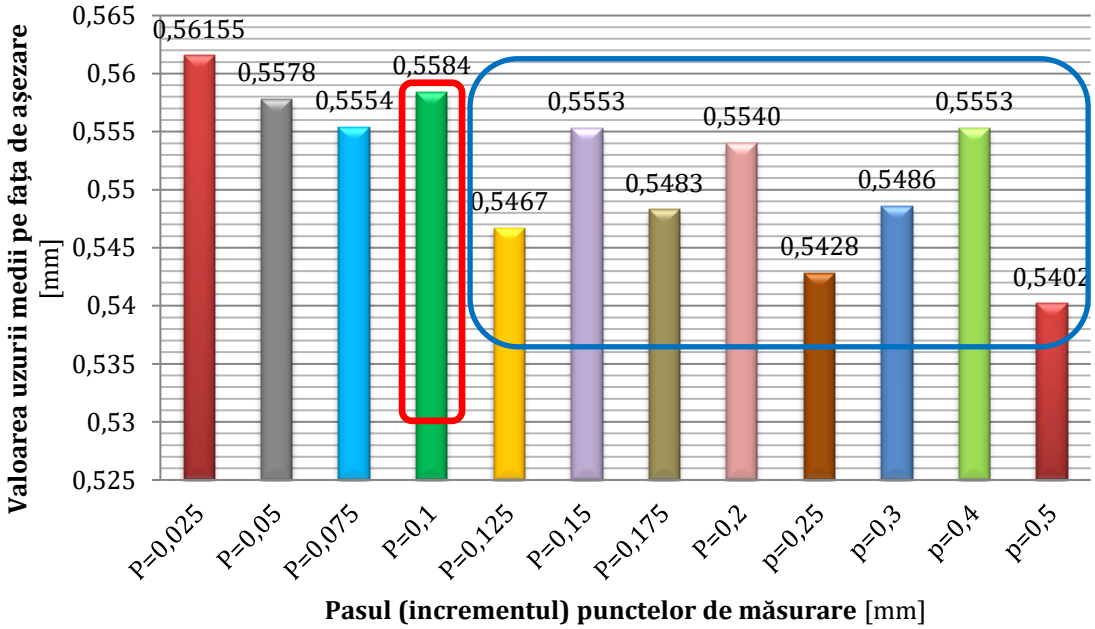


Fig. 3.7. *Reprezentarea grafică a valorilor medii ale uzurii pe fața de așezare în funcție de pasul (incrementul) punctelor de măsurare la tăișul nr. 1 [DAI19]*

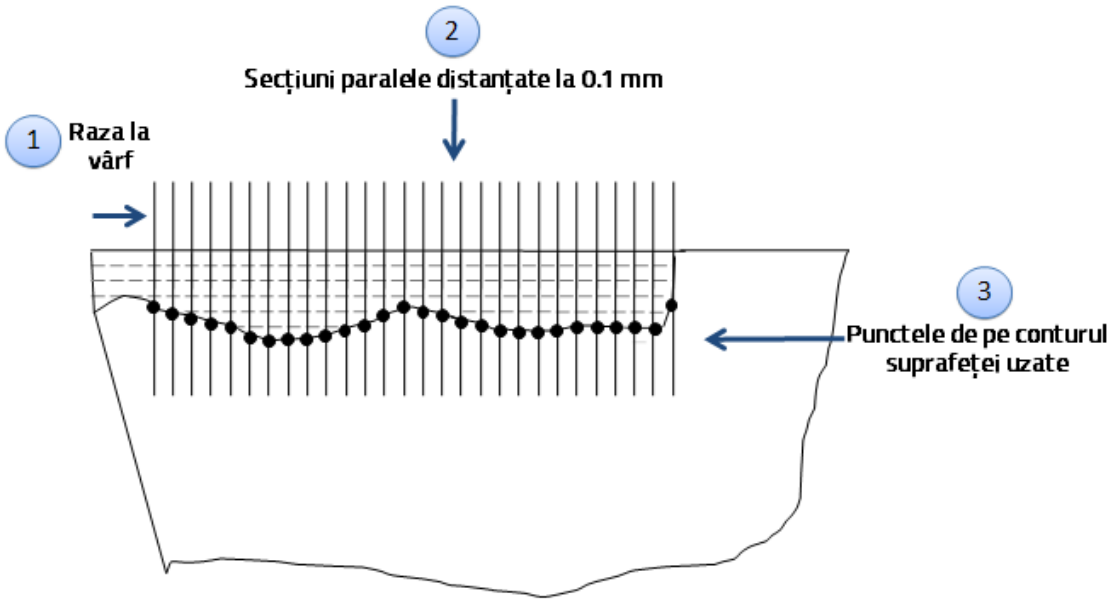


Fig. 3.8. *Metodologia propusă pentru măsurarea incrementală a uzurii pe flanc (pe fața de așezare)*

- *Etapa 1. Identificarea începutului uzurii pe tăișul rectiliniu pentru măsurarea cotei* M *(fig. 3.6) în vederea determinării lungimii tăișului rectiliniu uzat; calculul numărului punctelor de măsurare prin împărțire lungimii rectilinii a tăișului uzat la pasul (incrementul) de 0,1 mm iar la*

partea întreagă a împărțirii se mai adaugă cifra 1; pentru a evita uzura pe colț măsurarea va începe de la sfârșitul uzurii pe tăișul sculei, către raza la vîrful sculei; în acest mod se micșorează eroarea de poziționare a originii măsurătorilor de către doi operatori independenți; dacă s-ar începe de la vârful sculei, pentru evitarea razei la vârf, nu s-ar reuși identificarea punctului de inflexiune dintre rază și porțiunea rectilinie a tăișului;

- *Etapa 2. Determinarea dreptei de referință a măsurătorilor (fig. 3.2), prin poziționarea acesteia în lungul tăișului neuzat;*
- *Etapa 3. Împărțirea suprafeței uzate (pe tăișul rectiliniu uzat) în secțiuni paralele distanțate la 0,1 mm și totodată perpendiculare pe dreapta de referință; această împărțire se face cu scopul obținerii unui număr suficient de puncte pentru o evaluare precisă a uzurii medii; prima măsurătoare nu trebuie să aibă valoarea zero (fig. 3.8);*
- *Etapa 4. Măsurarea înălțimii uzurii în fiecare secțiune; se va identifica uzura maximă, (înălțimea maxima obținută),* VB_{MAX} *;*
- *Etapa 5. Se calculează valoarea uzurii medii* VB_B *ca fiind media valorilor măsurate, luând în considerare inclusiv valoarea maximă.*

3.2. Identificarea și determinarea erorii umane de măsurare a uzurii

3.2.1. Identificarea surselor de eroare umană la măsurarea uzurii cu microscopul optico-digital 2D

În figura 3.9 sunt evidențiate toate sursele de erori umane la măsurarea uzurii.

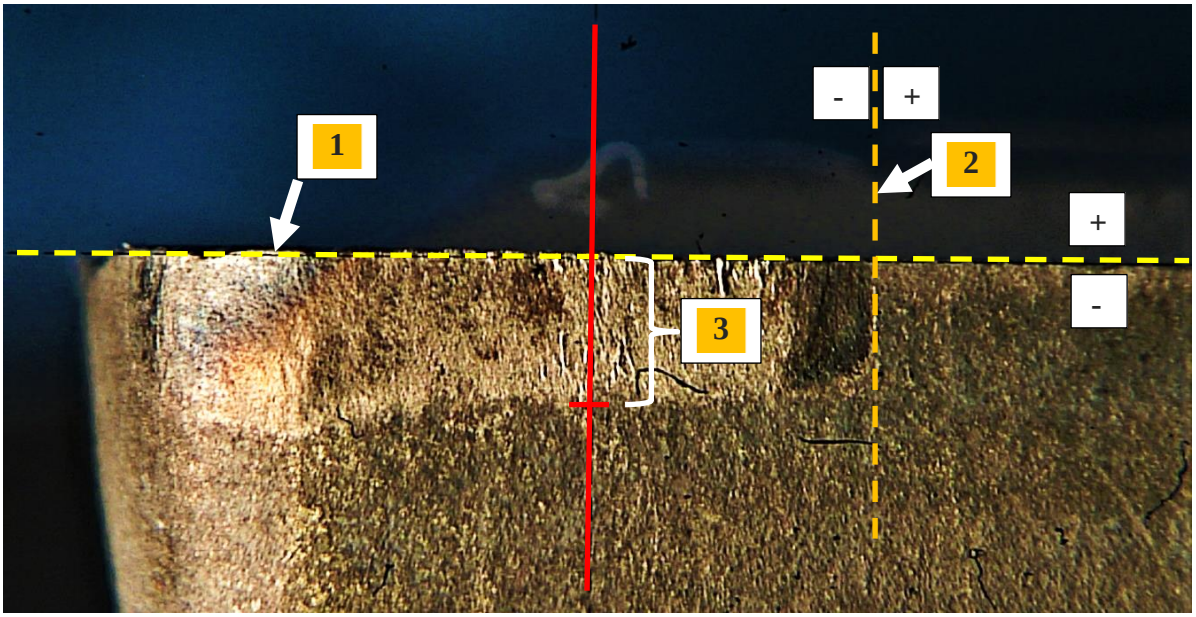


Fig. 3.9. *Evidențierea surselor de eroare umană la măsurarea uzurii*

1. Prima sursă de eroare umană la măsurarea uzurii pe flanc este dată de alinierea reticolului orizontal *1* al microscopului optico-digital 2D cu tăișul așchietor. Eroarea în acest caz este dată de suprapunerea reticolului orizontal peste tăișului așchietor, suprapunere ce determină linia de referință față de care se măsoară uzura pe flanc VB_B. Pentru a determina eroarea de suprapunere s-a poziționat reticolul orizontal pe tăișul plăcuței așchietoare și s-a reglat la zero micrometrul digital al microscopului industrial. S-au efectuat 20 de repetări ale poziționării reticolului și s-a determinat abaterea față de prima măsurătoare.

Experimenta s-a constat că ecartul maxim de 0,005 mm este nesemnificativ pentru uzură în procesul de așchiere. Numai reticolul microscopului are o grosime de 1µm. În concluzie, acest tip de eroare se poate neglija.

2. A doua sursă de eroare umană la măsurarea uzurii pe flanc este poziționarea reticolului vertical la sfârșitul uzurii, în partea dreaptă (fig. 3.9). Reticolul determină originea de la care se realizează pasul punctelor de măsurare a uzurii. Și în acest caz s-au efectuat 20 de repetări ale poziționării reticolului și s-a determinat abaterea față de prima măsurătoare

S-a constatat că, de data aceasta, ecartul maxim a crescut la 0,006 µm fapt datorat dificultății mai mari de poziționare a reticolului vertical.

Totodată s-a evidențiat faptul că eroarea datorată poziționării reticolului 2 la sfârșitul uzurii, față de măsurătorile inițiale ale uzurii pe flanc, este sub 1% atât pentru uzura maximă VB_{MAX} cât și pentru uzura medie VB_B. Aceste abateri sunt nesemnificative pentru procesul de așchiere.

3. A treia sursă de eroare umană la măsurarea uzurii pe flanc (fig. 3.9) este dată de aprecierea mai dificilă a trecerii de la suprafața uzată a flancului la suprafața neuzată. Această eroare se manifestă atunci când măsurătorile sunt efectuate de operatori diferiți dar și în cazul când măsurătorile sunt repetate de către același operator.

3.2.2. Determinarea erorii de măsurare indusă de un operator

Așa cum s-a arătat mai înainte particularitatea măsurării uzurii pe flanc (pe fața de așezare) constă în faptul că *trecerea de la suprafața de așezare la uzură este generatoare de erori datorită aprecierii diferite a trecerii* (fig. 3.2 și figura 3.3) de către diverși operatori și chiar de către același operator la repetarea măsurătorilor.

Pentru a determina eroarea de măsurare a unui operator s-au efectuat 12 măsurători ale aceleiași uzuri (cea din figura 3.2 și figura 3.3). Punctul de început al măsurătorilor a fost dat de poziționarea pe microscop cu o precizie de 0,001 µm iar pasul (incrementul) punctelor măsurate a fost de 0,1 mm. S-a măsurat uzura în 28 de puncte.

În urma rpetărilor măsurătorilor se pot trage următoarele concluzii:

- *Diferența (ecartul) maximă dintre citiri este de 0,031 mm la 4 puncte ceea ce înseamnă că în aceste puncte este mai greu de sesizat trecerea de la fața de așezare la uzură;*

- *Diferența maximă dintre uzurile medii este de 0,0106 mm ceea ce este mai mult decât acceptabil;*
- *Toate repetările au indicat uzura maximă în același punct;*
- *Media uzurilor medii este de VB_B = 0,5633 mm;*
- *Media uzurii maxime este de VB_{MAX} = 0,7000 mm.*

3.2.3. Determinarea erorii de măsurare indusă de operatori independenți

Pentru a vedea dacă există diferențe dintre operatori independenți la măsurarea aceleiași uzuri s-a apelat la 5 operatori care au măsurat fiecare separat, aceeași uzură, după un minim instructaj. Drept reper s-a luat prima măsurătoare a operatorul care a făcut măsurarea aceleiași uzuri de 12 ori, cu 3 zecimale. Rezultatele au condus la următoarele concluzii:

Diferența (ecartul) maximă dintre operatori este de 0,068 mm, la punctul 1, ceea ce este de înțeles, fiind prima măsurătoare; deja la măsurarea uzurii în punctul 2 diferența s-a redus la 0,059 mm iar apoi s-a intrat în normal, diferența încadrându-se ca la primul operator, când s-au efectuat 12 repetări;

- *Diferența maximă dintre uzurile medii pentru cei 6 operatori este de 0,0079 mm ceea ce este mai mult decât acceptabil;*
- *Toate repetările, și în acest caz, au indicat uzura maximă în același punct;*
- *Totodată s-au identificat punctele unde aprecierea trecerii de la fața de așezare la uzură s-a făcut cu dificultate mai mare, și anume, în 7 puncte.*

3.3. Măsurarea uzurii plăcuței aşchietoare cu scanerul 3D

Scanarea 3D (digitizarea) este un procedeu utilizat foarte mult pentru Reverse Engineering şi controlul pieselor [VAR97]. În vederea realizării ei este nevoie de un sistem de achiziție date 3D, adică un instrument care colectează coordonatele 3D ale tuturor punctelor unei regiuni sau ale unei suprafețe [BOE02].

În metodologia propusă se utilizează scanarea 3D pentru măsurarea precisă a uzurii fără post-procesarea norului de puncte sau dezvoltarea modelului CAD.

Utilizând procedeul de strunjire au fost uzate 10 tăișuri ale plăcuțelor din carbură metalică tip SPMR150612. Materialul prelucrat este C45 (cu caracteristicile din anexa 1), semifabricat de tip bară cu Ø50 mm. Aprecierea uzurii medii pe flanc până la care s-a făcut așchierea, cuprinsă între 0,6 și 0,7 mm, a fost realizată prin utilizarea unui microscop optico-digital 2D.

Pentru scanarea uzurilor s-a utilizat scanerul 3D ATOS III Triple Scan de la compania GOM, existent la compania Spectromas București [ENA16] prezentat în figura 3.10.

Pentru aplicarea metodologiei utilizând scanerul 3D, măsurările sunt descrise în 8 etape, după cum urmează:

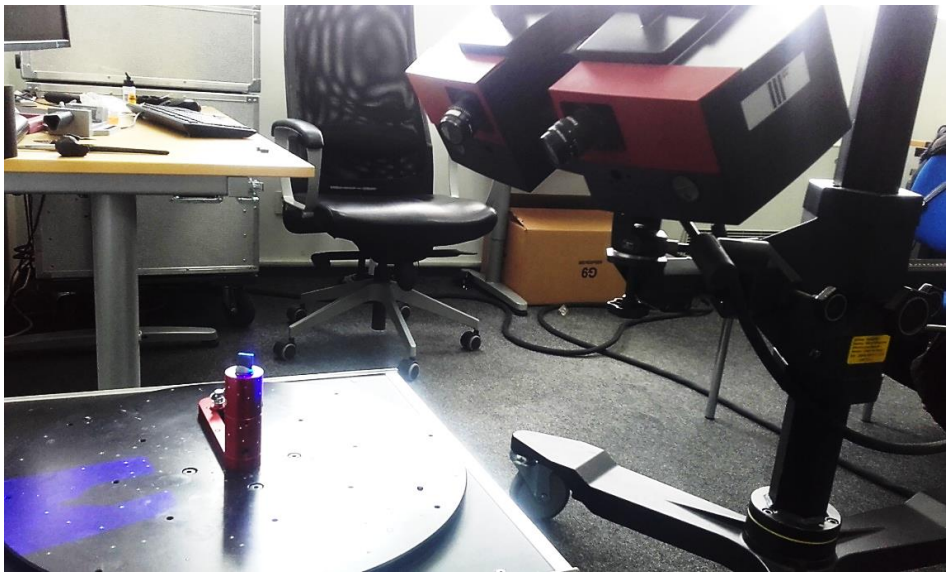


Fig. 3.10. *Scanarea plăcuței cu scanerul 3D ATOS III Triple Scan*

1. Pregătirea plăcuței și realizarea unui prim set de măsurători;
2. Fotografierea uzurii pe flanc;
3. Scanarea plăcuței;
4. Încadrarea plăcuței într-un sistem de coordonate;
5. Generarea secțiunilor paralele cu pasul de 0,1 mm pe uzura flancului;
6. Localizarea conturului utilizând imaginea fotografică;
7. Determinarea distanțelor de la muchia plăcuței (linie de referință) la punctele de pe conturul uzurii;
8. Obținerea valorilor pentru VB_{max} și VB_B.

   Pentru primul tăiș rezultatele sunt:

   - VB_{MAX} = 0,717 mm;
   - VB_B = 0,534 mm.

   S-au scanat toate cele 10 tăișuri, rezultatele prezentându-se în anexa 5.

Un exemplu de raport de măsurare [ENA16], realizat de compania Spectromas, cu scanerul 3D ATOS III Triple Scan Gom, se află în anexa 2.

3.4. Măsurarea uzurii plăcuțelor aşchietoare cu profilometrul digital 2D

Aplicațiile cu sistemele optice de măsurare 2D se bazează pe măsurarea înălțimii uzurii pe fața de așezare (pe flanc) față de tăișul inițial. Precizia măsurătorilor este în funcție de performanțele sistemului optic de măsurare 2D, performanțe care s-au îmbunătățit continuu. Sistemele optice de măsurare de ultimă generație au trecut de la precizia de 0,01 mm la precizia de 0,001 mm iar cele mai performante la precizia de 0,0001 mm. Utilizarea profilometrului digital la măsurarea uzurii plăcuțelor aşchietoare are drept scop evidențierea utilizării unor sisteme optice 2D care nu au ca destinație măsurări ale uzurii sculelor aşchietoare ci măsurări ale

diverselor profile 2D. Rezultatele obținute sunt comparate cu cele obținute prin scanare 3D dar și cu alte sisteme de măsurare 2D și 3D.

Pentru măsurarea uzurii a fost utilizat un sistem 2D Vision Measuring System Quick Image QI-A 2010B de la compania Mitutoyo, aflat în dotarea laboratorului de măsurări Mitutoyo din cadrul Institutului de Cercetare – Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov ([MIH17]), prezentat în figura 3.11. Sistemul are afișajul de măsurare 0,0001 mm.

În acest caz, aplicând metodologia propusă pe sistemele 2D, etapele de măsurare vor fi:

- Etapa 1. Definirea originii sistemului de referință al echipamentului;
- Etapa 2. Generarea manuală a liniei de referință a uzurii pe fața de așezare;
- Etapa 3. Alinierea sistemului de referință al echipamentului la linia de referință generată;
- Etapa 4. Definirea punctului de pornire – măsurătoarea va începe, cum este arătat în figura 3.8, de la sfârșitul uzurii spre raza la vârf a tăișului așchietor cu un pas egal cu 0,1 mm;
- Etapa 5. Măsurarea înălțimilor uzurii pe fața de așezare până la raza de la vârful plăcuței așchietoare;
- Etapa 6. Calcularea uzurii medii "VB_B" și identificarea uzurii maxime "VB_{MAX}".

Fig. 3.11. *Sistem optic de măsurare 2D Quick Image QI-A 2010B*

Imaginea uzurii pe flanc vizualizată pe sistemul de măsurare 2D este prezentată în figura 3.12, iar rezultatele obținute pentru toate cele 28 puncte, conform metodologiei propuse, sunt prezentate în anexa 3.

Rezultatele obținute pentru tăișul 1 sunt:

- VB_{MAX} = 0,632 mm;
- VB_B = 0,523 mm.

S-a măsurat uzura la toate cele 10 tăișuri, rezultatele fiind centralizate în anexa 3.

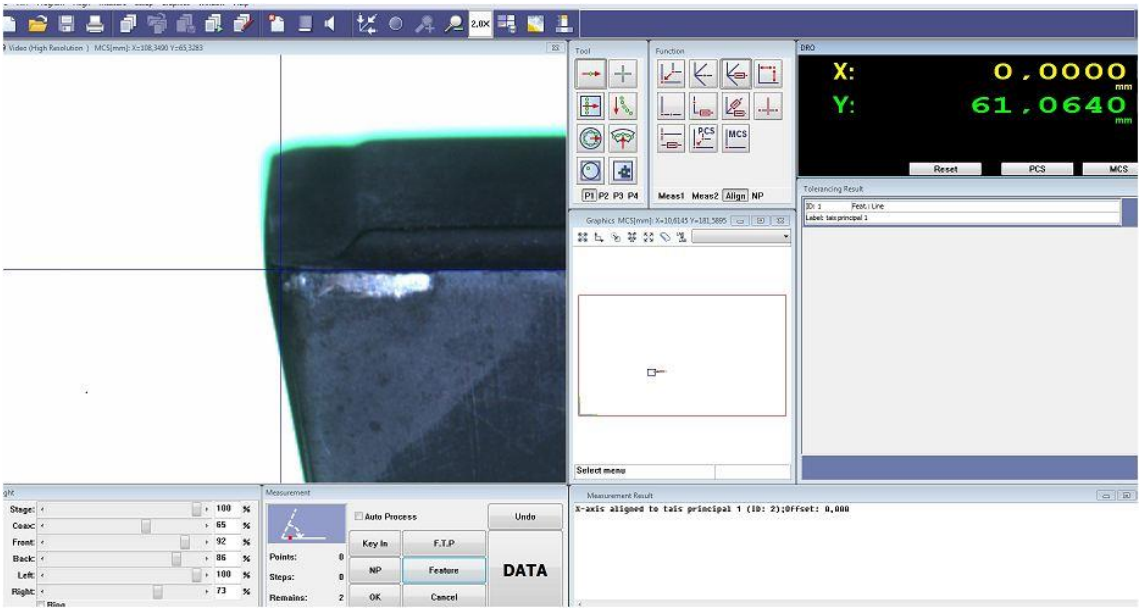


Fig. 3.12. *Imaginea uzurii pe flanc a tăișului nr. 1 utilizând profilometrul 2D*

3.5. Măsurarea uzurii plăcuțelor așchietoare cu microscopul optico-digital 2D

Măsurarea uzurii cu microscopul optico-digital 2D TM-1005B Mitutoyo s-a detaliat în subcapitolul 3.1 pentru tăișul nr. 1. În acest subcapitol se va exemplifica o nouă măsurare a uzurii, și anume, la tăișul nr. 8 (fig. 3.13), unde uzura are caracter uniform.

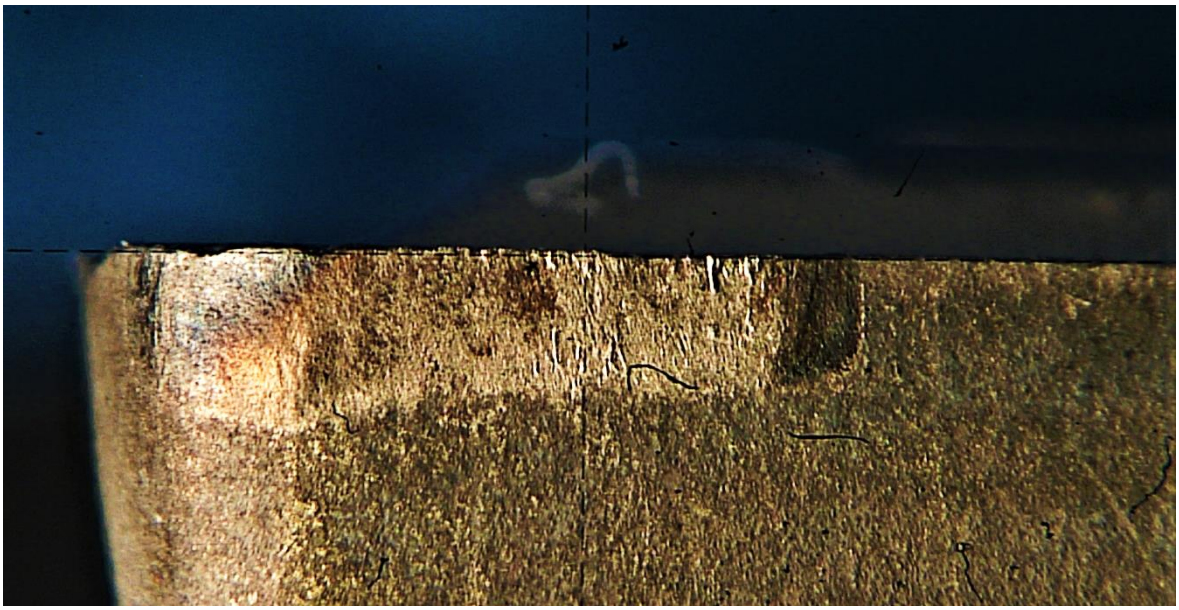


Fig. 3.13. *Imaginea la microscopul optico-digital 2D a uzurii pe flanc la tăișul nr. 8*

Numărul de puncte în care se măsoară uzura s-a determinat cu relația (L_x/0,1 + 1), unde L_x = 2,383, rezultând 25 de puncte.

Rezultatul măsurătorilor este:

- VB_{MAX} = 0,787 mm;
- VB_B = 0,660 mm.

3.6. Măsurarea uzurii plăcuțelor așchietoare cu microscopul digital 3D

Microscopul digital 3D este un echipament de scanare 3D, de ultimă generație, utilizat în diverse scopuri, cum ar fi: distanțe, volum, rugozitate, forme diverse, deformări, topografie, etc. Microscopul digital 3D, evident, execută cu mare precizie și măsurători 2D.

Prezentă la DemoMetal Brașov 2019, firma japoneză Hirox a expus ultimul tip de microscop digital 3D. Prin amabilitatea expozantului a fost efectuată o măsurătoare 2D a uzurii la tăișul nr. 1 și o scanare 3D a uzurii [LEO19]. Microscopul digital 3D cu care s-au efectuat măsurătorile este prezentat în figura 3.14.

Rezultatele măsurătorilor cu microscopul scaner 3D digital (măsurătorile fiind făcute 2D), pentru tăișul nr. 1, sunt următoarele (anexa 4):

- VB_{MAX} = 0,690 mm;
- VB_B = 0,543 mm.

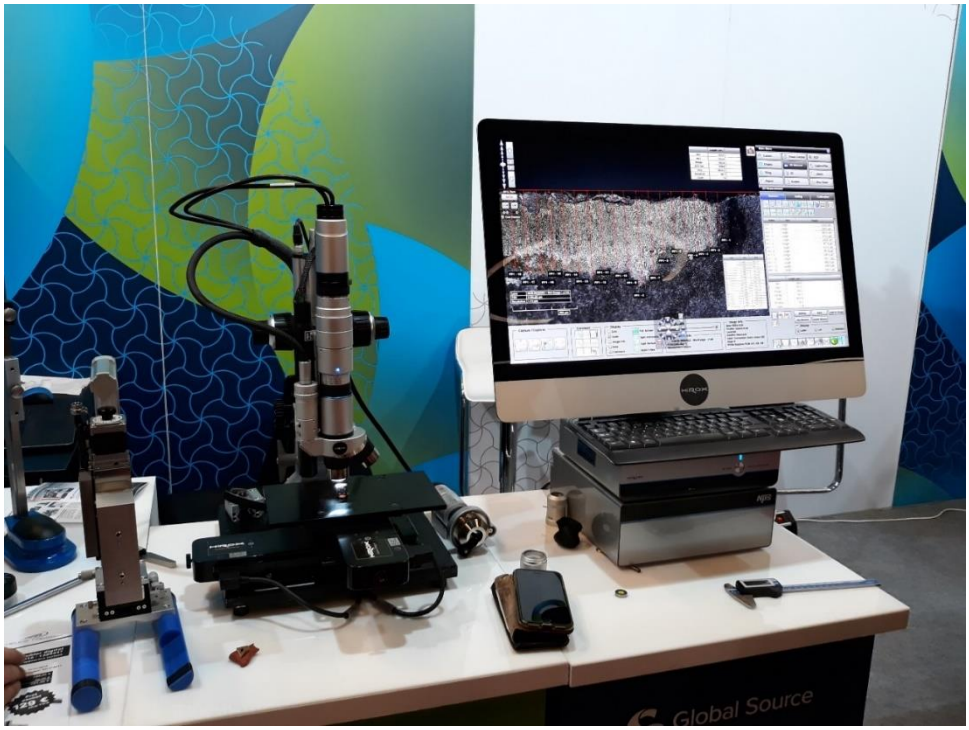


Fig. 3.14. *Imaginea la microscopul digital 3D a uzurii pe flanc la tăișul nr. 1*

Rezultatele măsurătorilor cu microscopul scaner 3D digital (măsurătorile fiind făcute 2D), pentru tăișul nr. 1, sunt următoarele (anexa 4):

- VB_{MAX} = 0,690 mm;
- VB_B = 0,543 mm.

Scanarea 3D a uzurii tăișului nr. 1, realizată cu microscopul digital 3D [LEO19], este prezentată în figura 3.15.

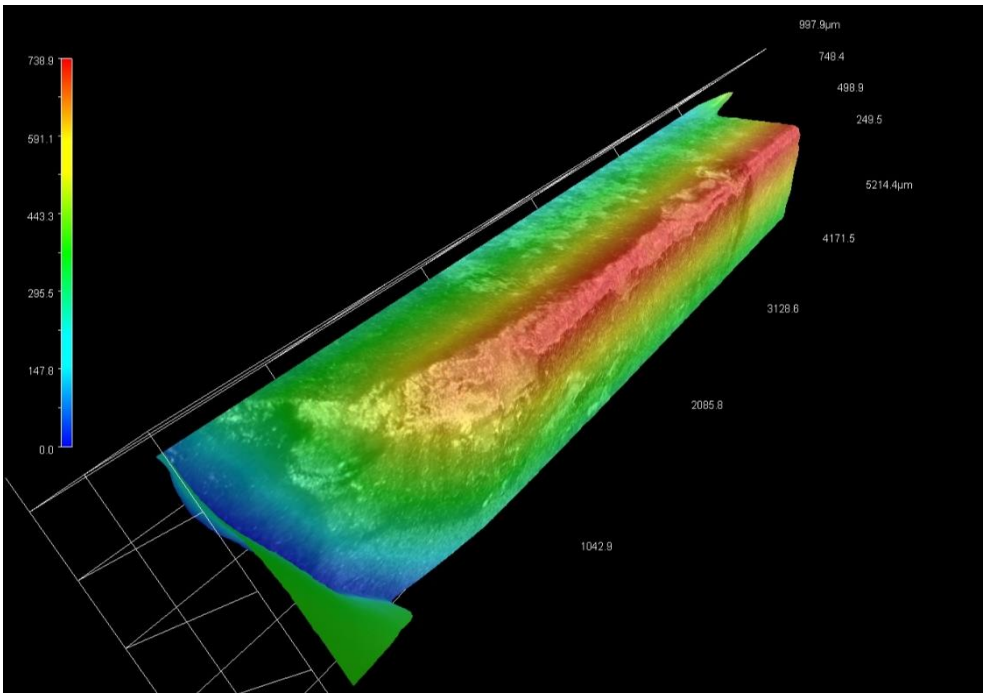


Fig. 3.15. *Imaginea 3D a uzurii la tăișul nr. 1 [LEO19]*

Din figura 3.15 se observă că trecerea de la tăișul uzat la cel neuzat și, totodată, se poate constata la tăișul neuzat existența unei mici raze obținute la sinterizarea plăcuței.

3.7. Compararea rezultatelor și concluzii

3.7.1. Compararea rezultatelor și concluzii pentru tăișul nr. 1

Măsurarea uzurii pe fața de așezare (pe flanc) la tăișul nr. 1 s-a realizat cu 4 sisteme de măsurare diferite și anume: scaner 3D Gom, sistem digital de măsurare 2D Quick Image QI-A 2010B Mitutoyo, microscop digital 3D Hirox și microscop optico-digital 2D Mitutoyo.

Pe baza măsurătorilor efectuate se pot trage următoarele concluzii:

- Cele 4 sisteme de măsurare au indicat uzura maximă în punctul 9 iar ecartul maxim pentru uzura maximă este de 0,024 mm, valoare care este mai mică față de repetarea măsurătorii efectuată de același operator, valoare egală cu 0,030 mm;
- Ecartul maxim pentru uzura medie este de 0,035 mm (sunt 4 operatori diferiți și 4 sitem de măsurare), valoare apropiată de ecartul maxim de 0,029 mm obținut de 6

operatori diferiți la măsurarea aceleiași uzuri cu același sistem de măsurare (microscopul 2D optico-digital);

- Diferențele mai mari la măsurarea uzurii în anumite puncte arată faptul că în aceste puncte trecerea de la suprafața uzată la suprafața neuzată este mai dificil de apreciat (sunt 4 operatori diferiți) dar influența asupra uzurii medii este acceptabilă;
- Având în vedere dificultatea aprecierii trecerii de la flancul uzat le cel neuzat, valorile măsurate cu cele 4 sisteme de măsurare sunt destul de apropiate ceea ce înseamnă că *pentru măsurarea uzurii la tăișul nr. 1 se poate utiliza oricare din sisteme.*

3.7.2. Compararea rezultatelor și concluzii pentru tăișurile 2÷10

Măsurarea uzurii la tăișurile 2÷10 (9 tăișuri) s-a efectuat cu 3 sisteme de măsurare deoarece sistemul de măsurare "Microscop scaner 3D digital" nu a mai fost disponibil. Se exemplifică comparația pentru tăișul nr. 8 (fig. 3.13). Rezultatele sunt prezentate, comparativ, în tabelul 1.

Tabelul 1. *Rezultate pentru măsurarea uzurii la tăișul nr. 8 cu 3 sisteme de măsurare*

Nr. pct. (i)	Scaner 3D [mm]	Profilometru digital 2D [mm]	Microscop 2D optico-digital [mm]
VB_{MAX}	0,811	0,794	0,787
	Ecart maxim = **0,024**		
VB_B	0,678	0,658	0,660
	Ecart maxim = **0,020**		

În urma realizării măsurătorilor se poate concluziona:

- Și de data aceasta cele 3 sisteme de măsurare au indicat uzura maximă în același punct iar ecartul maxim pentru uzura maximă este de 0,024 mm, identic ca la tăișul nr. 1; valoarea este mai mică (0,024 mm) față de repetarea măsurătorii efectuată de același operator (0,030 mm);
- Ecartul maxim pentru uzura medie este de 0,020 mm (sunt 3 operatori diferiți și 3 sitem de măsurare), valoare sub ecartul maxim de 0,029 mm obținut de 6 operatori diferiți la măsurarea aceleiași uzuri cu același sistem de măsurare (microscopul 2D optico-digital);
- Se constată faptul că valorile mai apropiate obținute la măsurarea uzurii la tăișul nr. 8 se datorează uniformității uzurii comparativ cu uzura de la tăișul nr. 1
- Valorile foarte apropiate obținute la măsurarea uzurii la tăișul nr. 8 cu cele 3 sisteme de măsurare conduc la concluzia că *pentru măsurarea uzurii la tăișul nr. 8 se poate utiliza oricare dintre cele 3 sisteme.*

3.7.3. Compararea rezultatelor și concluzii pentru 10 tăișuri

Din analiza măsurătorilor pentru uzură, efectuate cu 3 sisteme de măsurare pentru 10 tăișuri, se evidențiază următoarele concluzii:

- Valorile obținute pentru uzură cu cele 3 sisteme de măsurare sunt foarte apropiate;
- Acolo unde ecartul maxim la uzura maximă are valoare mare trecerea de la suprafața uzată la cea neuzată este mai difuză ceea ce coincide cu imaginile uzurilor (anexa 5);
- Ecartul la valoarea uzurii medii este tot în jurul valorii de 0,03 mm (maxim 0,035 mm);
- La tăișurile la care ecartul maxim al uzurii medii are valori mai mari de 0,035 mm imaginea uzurii este mai difuză și este mai greu de apreciat trecerea de la suprafața uzată la cea neuzată, observație care coincide cu fotografiile uzurilor (anexa 5);
- Dacă valorile ecartului maxim ale uzurii medii sunt mai mici imaginea uzurii (anexa 5) este mai clară și a fost mai ușor a se determina trecerea de la suprafața uzată la cea neuzată;
- Dacă valorile ecartului maxim la uzura maximă și la uzura medie sunt concomitent mici rezultă că a fost mai dificil determinarea punctului de început al măsurătorilor (imaginea uzurii tăișului 9 din anexa 5);
- Cu cât raportul VB_{MAX}/VB_B este mai mare de 1,2 mm cu atât gradul de neuniformitate al uzurii este mai mare (tăișurile 1, 4, 7, 10 din anexa 5).

În concluzie, la măsurarea uzurii maxime și la determinarea uzurii medii, se poate utiliza, cu foarte bună precizie, oricare din sistemele de măsurare folosite respectând metodologiile de măsurare prezentate în subcapitolele 3.3 și 3.4.

Capitolul 4
ABORDAREA INOVATIVĂ A UTILIZĂRII CURENTULUI ELECTRIC DE AȘCHIERE LA BURGHIERE

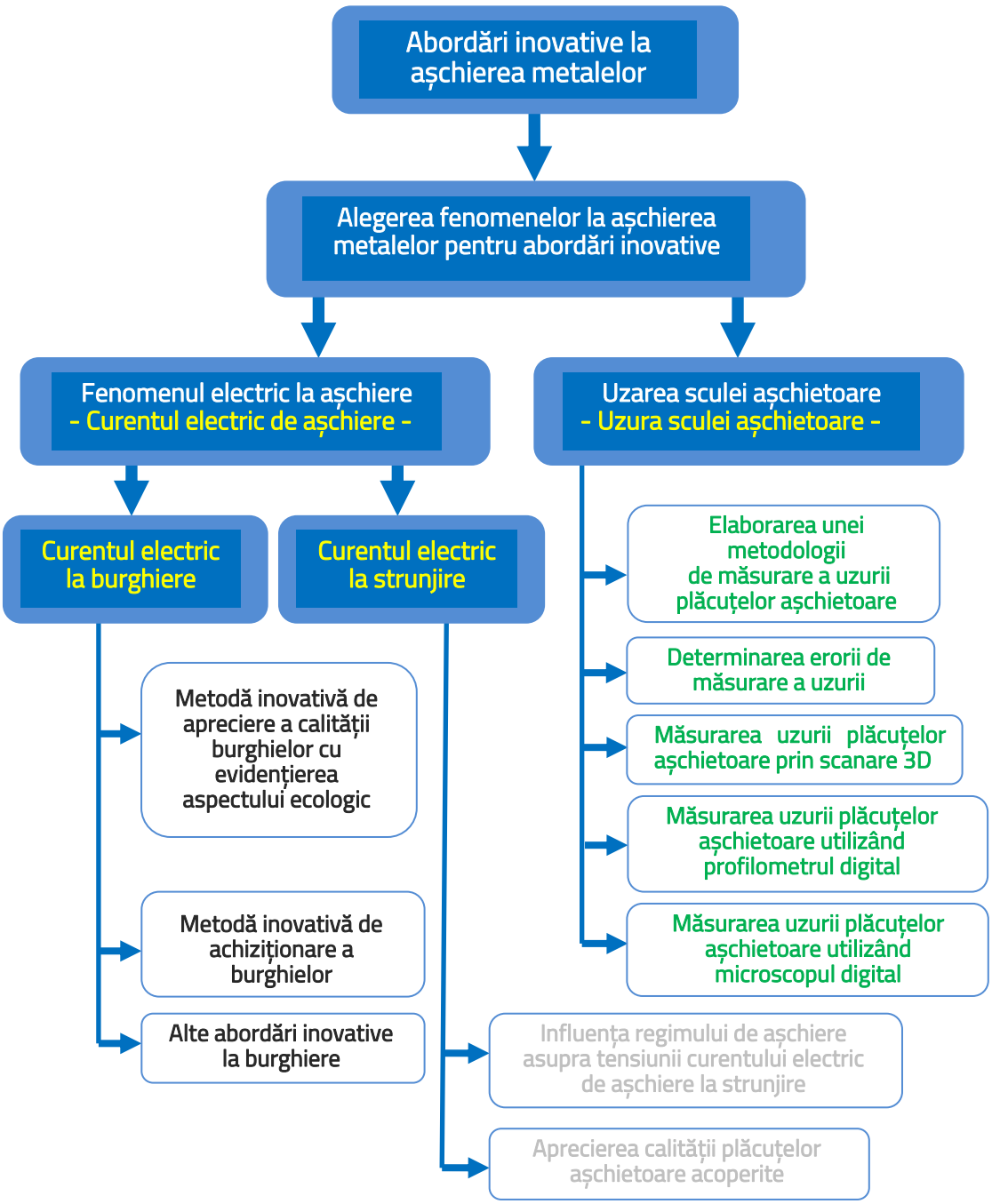


Figura 4.1. *Organigrama capitolului 4*

În capitolul 1 al tezei de doctorat s-a evidențiat faptul că unul dintre fenomenele identificate a avea loc în procesul de așchiere este fenomenul electric. Deși a fost identificat de mult timp, totuși, nu s-a utilizat la scară industrială în aplicații, cu excepția aprecierii temperaturii în procesul de așchiere. Raritatea utilizării curentului electric de așchiere în practică face ca identificarea unor noi aplicații să capete caracter inovativ. Scopul capitolului 4, sintetizat în organigrama din fig. 4.1 este de a elabora aplicații inovative ale curentului electric de așchiere pentru burghiere.

4.1. Stand pentru măsurarea curentului electric de aşchiere la burghiere

În vederea desfășurării unor cercetări cu caracter experimental a fost configurat un stand care permite măsurarea curentului electric de aşchiere la burghiere (figura 4.2).

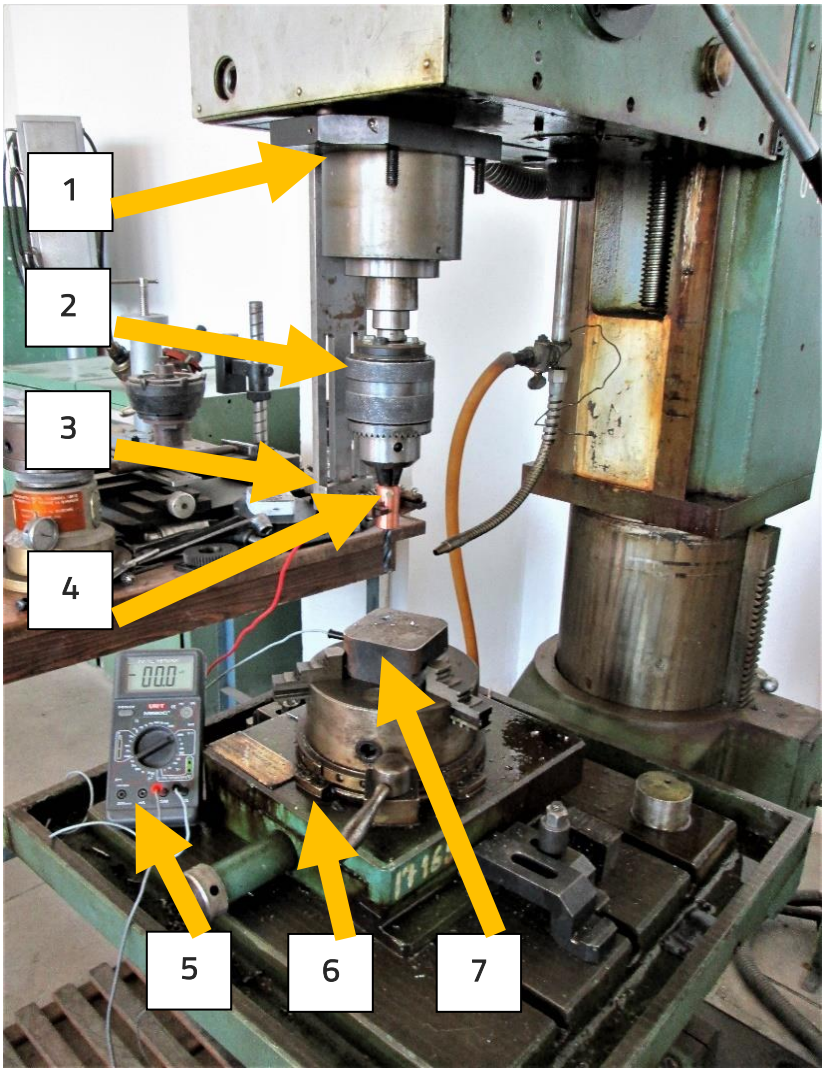


Fig. 4.2. *Stand experimental pentru măsurarea curentului electric de aşchiere la burghiere*

Părțile componente ale standului experimental sunt:

1. Maşină de găurit; 2. Mandrin ce este izolat electric față de maşina-unealtă; 3. Suport pentru colector; 4. Colector; 5. Multimetru de precizie clasic; 6. Dispozitiv de experimentări; 7. Piesa care urmează a fi așchiată.

4.2. Aprecierea calității unui lot de burghie

4.2.1. Identificarea aplicației

Estimarea durabilității tăişului unei scule aşchietoare are o mare importanță în controlul calității tăişului aşchietor mai ales în producția de serie, la achiziționarea unui lot de scule de către un beneficiar, ori pentru compararea diverselor scule aşchietoare achiziționate de la diverse firme pentru a studia raportul calitate/preț şi a decide de unde se pot cumpăra în condiții avantajoase sculele aşchietoare de care are nevoie o societate comercială industrială [DAI17a].

Calitatea inițială a unui tăiş aşchietor, aşa cum reiese din cercetările anterioare [PLO09, MUR13, MUR12, HIR98, DIT10, TAN04, NUR98], poate fi apreciată prin valoarea tensiunii curentului electric de aşchiere inițial. Cu cât această valoare este mai mare, cu atât temperatura inițială este mai mare datorită imperfecțiunilor tăişului aşchietor.

Prin acestă aplicație [DAI17a] se analizează influența imperfecțiunilor inițiale ale tăişului burghiului şi asupra mărimii inițiale a tensiunii curentului electric de aşchiere.

4.2.2. Organizarea experimentelor

Au fost achiziționate 30 de burghie având diametrul Ø8 mm, materialul tăişului aşchietor fiind Rp5. Pentru micșorarea timpului necesar experimentărilor burghierea s-a efectuat pe oțelul 42MoC11 (rezistența la rupere – 950 N/mm^2), cu ajutorul maşinii de găurit 6GCODA1. Compoziția chimică a materialului, conform STAS, Euronorm și DIN este următoarea: C (carbon) = 0,38÷0,45%; mangan (Mn) = 0,6÷0,9%; siliciu (Si) max. 0,4%; fosfor (P) max 0,035%; sulf (S) max. 0,03%; crom (Cr) = 0,9÷1,2%; molibden (Mo) = 0,15÷0,3%. Rezistența la rupere (R_m) este egală cu 950 N/mm^2 iar duritatea este egală cu 241 HB (unități Brinell).

Ordinea etapelor, ce urmează a fi parcurse în vederea cercetării experimentale, este următoarea:

1. Vizualizarea burghielor la micoscop;
2. Identificarea eventualelor imperfecțiuni și aprecierea inițială a calității burghielor;
3. Măsurarea tensiunii curentului electric la burghiere;
4. Luarea deciziei asupra calității burghielor pe baza valorii tensiunii curentului electric la așchiere

4.2.3. Realizarea experimentelor și prelucrarea datelor

Curentul electric de aşchiere a fost măsurat cu ajutorul standului experimental din figura 4.2. S-a măsurat tensiunea inițială "U_0" pentru cle 30 de burghie iar rezultatele obținute s-au grupat pe 3 categorii de calitate, obținându-se următorul rezultat:

- Burghie calitatea I : U_0 = 0,1÷0,3 mV – 7 bucăți;
- Burghie calitatea a II-a : U_0 = 0,4÷0,5 mV – 13 bucăți;
- Burghie calitatea a III-a : U_0 = 0,6÷0,7 mV – 10 bucăți.

Având imaginile la microscop ale burghielor înaintea de a aşchia cu ele și mărimea curentului electric, au fost examinate tăişurile fiecărui burghiu în vederea găsirii defectelor de fabricație și a explicării ulterioare a mărimii tensiunii curentului electric de aşchiere. Pentru un burghiu s-au vizualizat atât tăişurile principale (două), cât și tăișul transversal, identificându-se dacă au defecte sau nu.

În figura 4.3 se prezintă imagini ale celor două tăişuri aşchietoare principale (1), (2) cât și a tăișului transversal (3) pentru burghiul nr. 10 care a avut tensiunea curentului electric de aşchiere de $U_{0,10}$ = 0,2 mV (burghiu de calitatea I).

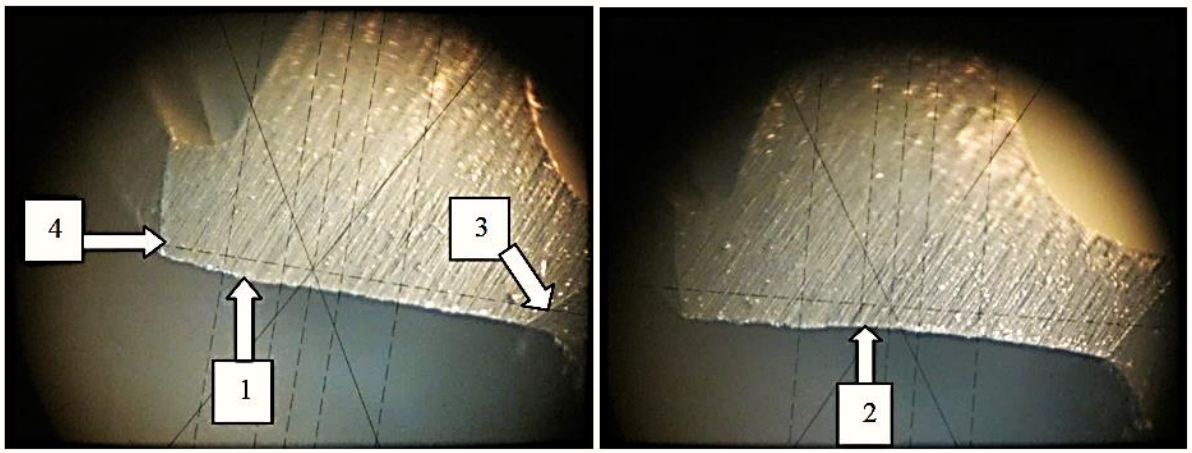


Fig. 4.3. *Tăişurile principale (1), (2), tăișul transversal (3) și colțul (4) la burghiul nr.10, ce are $U_{0,10}$ = 0,2 mV (burghiu de calitatea I) [DAI17a]*

Din figura 4.3 se poate constata faptul că atât tăișurile principale, cât și tăișul transversal, sunt corespunzătoare din punct de vedere al formei și rugozității. Totodată se poate constata că și colțurile burghiului sunt foarte bune. Toate burghiele din lot ar fi trebuit să aibă calitatea celui studiat.

În figura 4.4 sunt prezentate imagini ale tăişurilor aşchietoare de la burghiul numărul 14 care a avut un curent electric de aşchiere inițial de $U_{0,14}$ = 0,6 mV (burghiu de calitatea a III-a).

Analizând imaginele din figura 4.4 se poate constata că tăişul transversal (3) este parțial bine ascuțit, iar tăişurile principale (1), (2) ca și colțurile (3) sunt necorespunzătoare ceea ce explică creşterea temperaturii din zona de aşchiere şi totodată a tensiunii curentului electric de aşchiere.

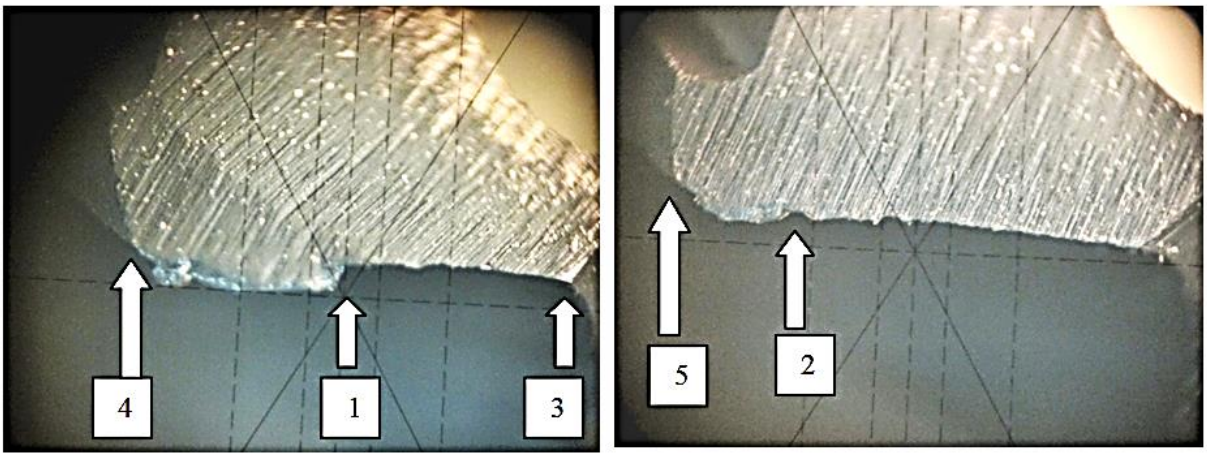


Fig. 4.4. *Tăişurile principale (1), (2), tăișul transversal (3) și colțurile (4), (5) la burghiul nr. 14 ce are $U_{0,14}$ = 0,6 mV (burghiu de calitatea a III-a) [DAI17a]*

4.2.4. Interpretarea rezultatelor

Ca urmare a experimentelor efectuate se pot evidenția următoarele concluzii:

- Curentul electric de așchiere este un mijloc inovativ în aprecierea calității tăișurilor la burghie și poate fi utilizat cu ușurință în acest scop;
- Procentajul fiecărei clase de calitate din întreg lotul de burghie este următorul: 23,34% de burghie sunt de calitatea I, 43,33% de calitatea a II-a și 33,33% de calitatea a III-a; în această situație lotul de burghie are o calitate bună deoarece predomină burghiele de calitatea a II-a ;
- Curentul electric de așchiere este sensibil la orice imperfecțiune a tăișurilor burghiului;
- Curentul electric de așchiere a evidențiat și o rugozitate necorespunzătoare obținută la ascuțire datorită granulației mari a discului abraziv utilizat;
- Dacă se determină durabilitatea burghielor din fiecare clasă de calitate se poate face și o analiză a raportului calitate/preț.

4.3. Achiziționarea inovativă a burghielor

4.3.1. Identificarea aplicației

Datorită frecvenței de prelucrare a alezajelor prin burghiere, achiziționarea corectă a sculelor aşchietoare conduce la economii semnificative în companiile industriale şi care pot evita sculele de proastă calitate ce sunt cumpărate de către utilizatorii particulari de la supermarketuri, utilizatori care sunt ademeniți cu prețuri mici. Firmele de specialitate şi cu atât mai mult supermarketurile nu dau date, măcar informative, despre durabilitatea burghielor pentru că ar fi uşor de făcut raportul calitate-preț . Din acest motiv este oportună analiza

calității diferitelor mărci de burghie comercializate de diverşi furnizori [DAI17a]. O primă analiză comparativă a două loturi de burghie este prezentată în lucrarea [DIT08b] dar burghiele au avut un diametru de 6 mm, număr de bucăți din fiecare lot 6, nu s-a făcut validarea rezultatelor și nici o analiză economică. În acest subcapitol se face o analiză completă a două loturi formate din burghie cu un diametru de 8 mm.

4.3.2. Analiza experimentală a calității burghielor din două loturi, de la doi furnizori, în funcție de tensiunea curentului electric de așchiere

În vederea aprecierii calității celor două loturi de burghie, pentru început, s-au achiziționat câte 2 loturi cu câte 10 burghie în fiecare lot, de la două firme cunoscute, și s-a măsurat tensiunea curentului electric de așchiere inițial U_0 pentru fiecare burghiu, cu ajutorul standului din figura 4.2.

Experimentele s-au efectuat pe materialul C45 (R_m = 806 N/mm^2 – anexa 1) și HB = 227. De remarcat este faptul că rezistența la rupere a oțelului C45 este comparabilă cu rezistența la rupere a oțelului 42MoC11 (R_m = 950 N/mm^2)

Valori ale tensiunii curentului de așchiere inițial U_0, pentru cele două loturi sunt prezentate în figura 4.5 .

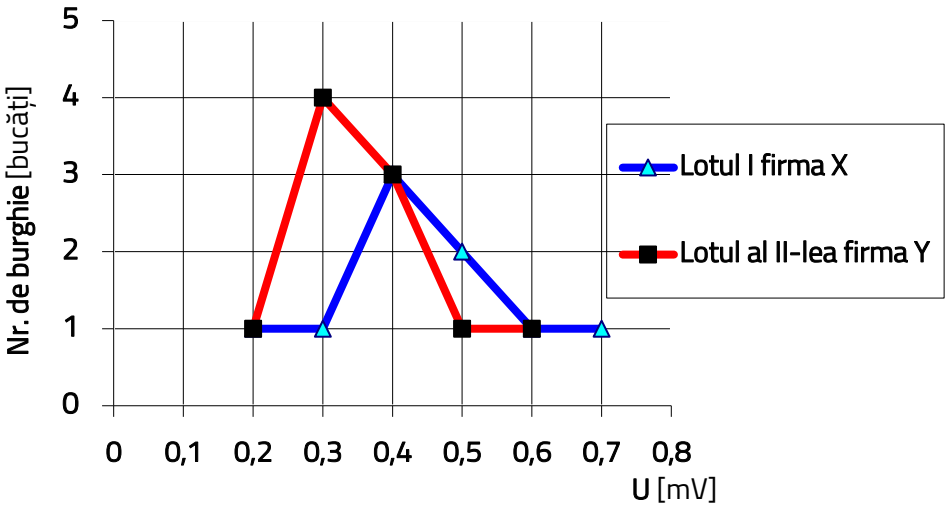


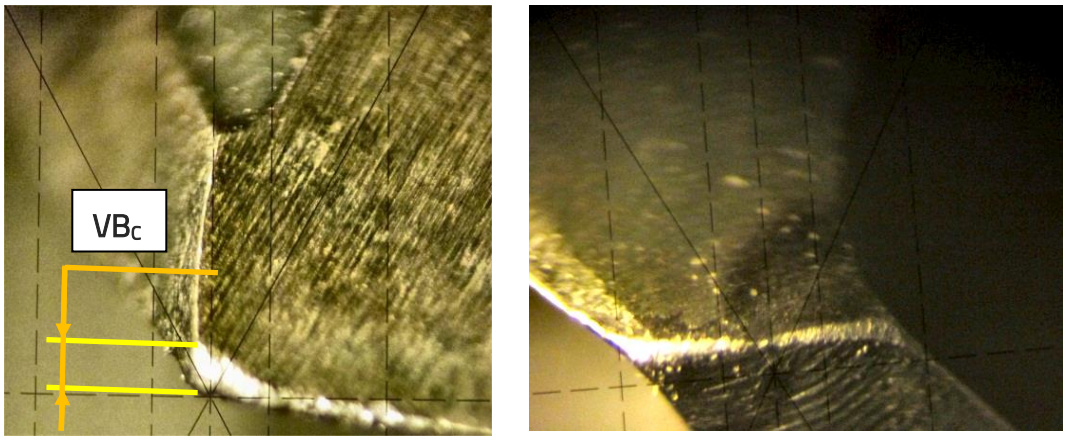
Fig. 4.5. *Numărul de burghie la aceeaşi valoare a tensiunii curentului electric de aşchiere pentru lotul I şi lotul al II-lea*

Din figura 4.5 se observă că lotul al II-lea are cel mai mare număr de burghie la tensiunea de 0,3 mV (4 burghie) iar lotul I are cel mai mare număr de burghie la tensiunea de 0,4 mV. Totodată diferența dintre tensiunea maximă şi tensiunea minimă este mai mică la lotul al II-lea ceea ce înseamnă că este stăpânit mai bine procesul de fabricație a burghielor.

4.3.3. Estimarea inovativă a durabilității burghielor din lotul I și lotul al II-lea utilizând dependență liniară

Estimarea în mod inovativ a durabilității burghielor pe baza măsurării tensiunii curentului electric de așchiere are la bază constatarea dependenței liniare a durabilității plăcuțelor așchietoare de tensiunea curentului electric de așchiere la strunjire în referințele [DIT97] și [DIT08]. Se presupune că dependența liniară semnalată mai sus este valabilă și la burghiere.

Din cele două loturi se iau câte două burghie, și anume, burghiul cu cea mai mică tensiune a curentului electric de așchiere și burghiul cu cea mai mare tensiune a curentului electric de așchiere. Burghiele se supun încercărilor de durabilitate. Se așchiază pe materialul C45 până la apariția uzurii la colțuri de 0,4 mm (fig. 4.6), chiar dacă literatura de specialitate recomandă uzura admisibilă la colțuri de 0,6 mm. S-a apelat la această abordare pentru scurtarea timpului necesar experimentelor și micșorarea consumului de material. Burghierea s-a efectuat până la o adâncime a alezajului în jurul valorii de 20 mm, adâncimea exactă măsurânduse ulterior cu un șubler digital iar valorile sunt rotunjite la mm. Pentru a opri așchierea când uzura la colț devenea 0,4 mm, înainte de atingerea acestei valori, s-a măsurat uzura, la microscopul industrial, după prelucrarea fiecărui alezaj. Rezultatele obținute sunt prezentate în tabelul 4.1.



(a) (b)

Fig. 4.6. U*zura la colț a tăişului principal, (a), şi a uzura tăişului transversal, (b), la burghiu*

Tabel 4.1. *Valori cu încercările la durabilitate la aşchierea oțelului C45 cu patru burghie din HS6-5-2, două pentru lotul I și două pentru lotul al II-lea*

Numărul burghiului din lotul I	**Diametrul burghiului** [mm]	**Turația** [rot/min]	**Avansul** [mm/rot]	**Tensiunea U_0 a curentului electric de aşchiere** [mV]	**Adâncimea totală a alezajelor aşchiate** [mm]	**Timpul de aşchiere efectivă** [min]
Lotul I						
2	8	560	0,25	0,7	17	0,12
9	8	560	0,25	0,2	282	2,01

Lotul al II-lea						
4	8	560	0,25	0,6	76	0,55
9	8	560	0,25	0,2	285	2,04

Pentru fiecare lot, utilizând ecuația dusă prin cele două puncte din tabelul 4.1 (fig. 4.7) se esimează durabilitatea pentru fiecare burghiu din cele două loturi. **Durabilitatea, sugestiv, se măsoară prin adâncimea alezajului așchiat.**

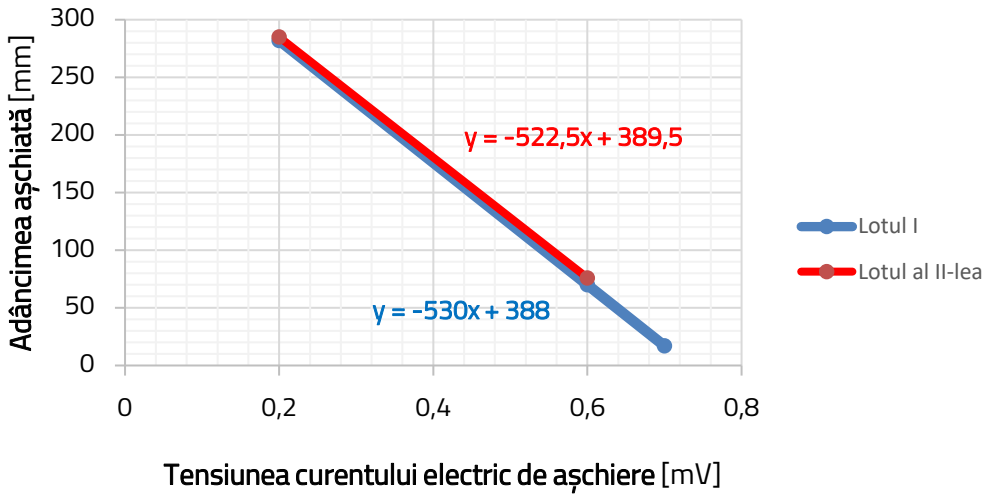


Fig. 4.7. *Dependențe liniare duse prin două puncte pentru cele două loturi de burghie și relațiile aferente*

În tabelul 4.2 este dată estimarea durabilității pentru cele 10 burghie din lotul I și pentru cele 10 burghie din lotul al II-lea (mai puțin la două burghie din lot la care s-a determinat experimental). Totodată este dată și lungimea totală prelucrată cu cele 10 burghie din fiecare lot.

Tabelul 4.2. *Durabilitatea estimată cu relațiile liniare din figura 4. 16 pentru fiecare tensiune măsurată a curentului electric de așchiere, la cele două loturi de burghie*

Nr. crt.	Tensiunea curentului electric de așchiere U_0 [mV]	Lotul I		Lotul al II-lea	
		Nr. de burghie	Durabilitate/ burghiu [mm]	Nr. de burghie	Durabilitate/ burghiu [mm]
1	0,2	1	282	1	285
2	0,3	1	229	4	232,75
3	0,4	3	176	3	180,5
4	0,5	2	123	1	128,25
5	0,6	2	70	1	76
6	0,7	1	17	-	-
Total (rotunjit)		10	**1442**	10	**1961,75**

4.3.4. Validarea estimării durabilității burghielor din lotul I și lotul al II-lea

Ipoteza dependenței liniare a durabilității burghielor în funcție de tensiunea curentului electric de așchiere se validează prin încercări experimentale la durabilitate pentru fiecare burghiu și în determinarea relației de regresie.

Se continuă experimental încercările de durabilitate pentru toate burghiele din cele două loturi. Se așchiază în continuare tot pe materialul C45 până la apariția uzurii la colțuri de 0,4 mm (fig. 4.6). Valorile încercărilor la durabilitate pentru toate burghiele sunt centralizate în tabelul 4.3. pentru lotul I și în tabelul 4.4 pentru lotul al II-lea.

Tabel 4.3. *Valori cu încercările la durabilitate la așchierea oțelului C45 cu burghie din HS6-5-2, pentru lotul I*

Numărul burghiului din lotul I	Diametrul burghiului [mm]	Turația [rot/min]	Avansul [mm/rot]	Tensiunea U_0 a curentului electric de așchiere [mV]	Adâncimea totală a alezajelor așchiate [mm]	Timpul de așchiere efectivă [min]
1	8	560	0,25	0,4	163	1,16
2	8	560	0,25	0,7	17	0,12
3	8	560	0,25	0,6	56	0,40
4	8	560	0,25	0,6	58	0,41
5	8	560	0,25	0,3	222	1,59
6	8	560	0,25	0,3	224	1,60
7	8	560	0,25	0,5	116	0,84
8	8	560	0,25	0,4	163	1,16
9	8	560	0,25	0,2	282	2,01
10	8	560	0,25	0,4	164	1,17
Total					**1465**	10,46

Tabel 4.4. *Valori cu încercările la durabilitate la așchierea oțelului C45 cu burghie din HS6-5-2, pentru lotul al II-lea*

Numărul burghiului din lotul al II-lea	Diametrul burghiului [mm]	Turația [rot/min]	Avansul [mm/rot]	Tensiunea U_0 a curentului electric de așchiere [mV]	Adâncimea totală a alezajelor așchiate [mm]	Timpul de așchiere efectivă [min]
1	8	560	0,25	0,4	171	1,22
2	8	560	0,25	0,3	231	1,65
3	8	560	0,25	0,3	229	1,64
4	8	560	0,25	0,6	76	0,55
5	8	560	0,25	0,3	226	1,61

6	8	560	0,25	0,4	167	1,19
7	8	560	0,25	0,5	117	0,84
8	8	560	0,25	0,3	226	1,61
9	8	560	0,25	0,2	285	2,04
10	8	560	0,25	0,3	230	1,64
Total					**1958**	13,99

În tabelul 4.5 sunt date valorile medii pentru adâncimea alezajului așchiat în funcție de tensiunea curentului electric de așchiere. Datele din tabelul 4.5 sunt reprezentate grafic în figura 4.8.

Tabelul 4.5. *Durabilitatea medie a burghielor în funcție de tensiunea curentului electric de așchiere pentru lotul I și lotul al II-lea*

Nr. crt	Tensiunea U_0 a curentului electric de așchiere [mV]	Adâncimea medie așchiată pentru lotul I [mm]	Adâncimea medie așchiată pentru lotul al II-lea [mm]
1	0,2	282	285
2	0,3	223	229
3	0,4	163	169
4	0,5	116	117
5	0,6	57	76
6	0,7	17	-

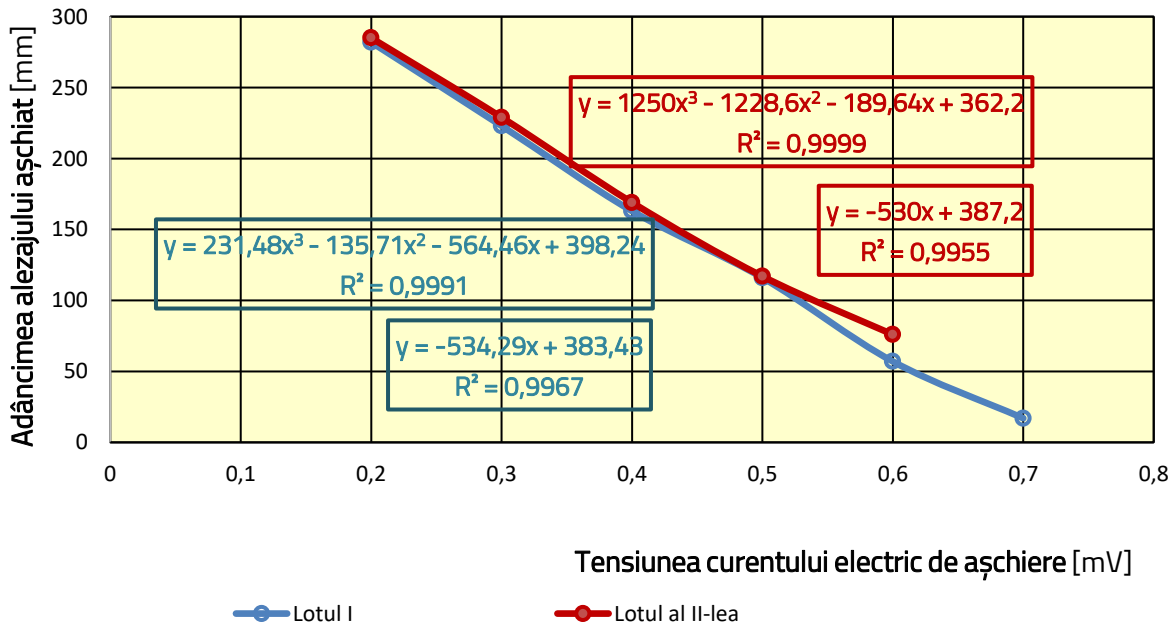


Fig. 4.8. *Graficul adâncimii alezajului așchiat în funcție de valoarea tensiunii curentului electric de așchiere pentru lotul I și lotul al II-lea.*

Din figura 4.8 se constată că variația adâncimii alezajului așchiat în funcție de tensiunea curentului electric de așchiere este liniară pentru ambele loturi și foarte apropiate ca pantă. Tot din figura 4.8 se constată că regresia polinomială de gr. 2 are coeficientul de determinare mai mare decât regresia liniară și în consecință este ceva mai precisă (diferența de la a doua zecimală față de coeficientul de determinare de la regresia liniară).

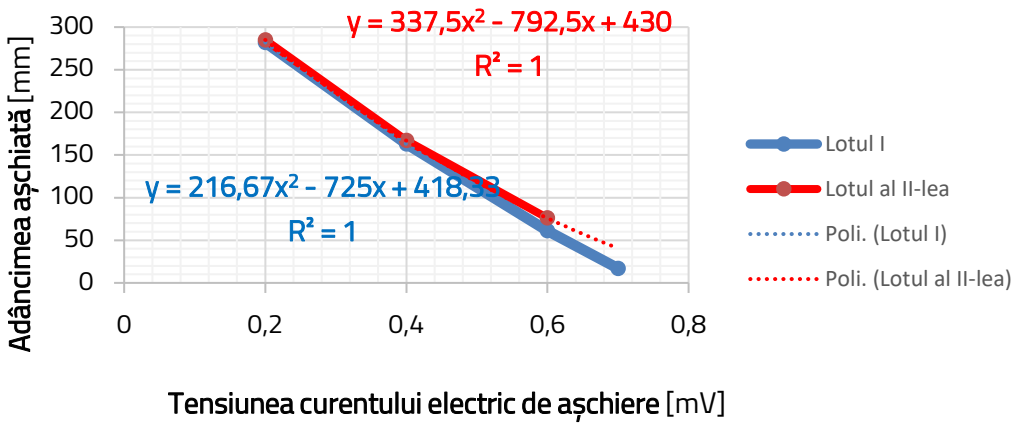
4.3.5. Estimarea inovativă a durabilității burghielor din lotul I și lotul al II-lea utilizând relația polinomială de gradul 2, comparativ cu relația liniară

Dacă se utilizează o relație polinomială de gradul 2 este nevoie de 3 experimente pentru fiecare lot de burghie în vederea determinării ecuației polinomiale de estimare a durabilității burghielor. În tabelul 4.6 sunt date experimentale pentru determinarea ecuației polinomiale.

Tabel 4.6. *Valori cu încercările la durabilitate la așchierea oțelului C45 cu șase burghie din HS6-5-2, trei pentru lotul I și trei pentru lotul al II-lea*

Numărul burghiului din lotul I	**Diametrul burghiului** [mm]	**Turația** [rot/min]	**Avansul** [mm/rot]	**Tensiunea U_0 a curentului electric de așchiere** [mV]	**Adâncimea totală a alezajelor așchiate** [mm]	**Timpul de așchiere efectivă** [min]
Lotul I						
2	8	560	0,25	0,7	17	0,12
1	8	560	0,25	0,4	163	1,16
9	8	560	0,25	0,2	282	2,01
Lotul al II-lea						
4	8	560	0,25	0,6	76	0,55
6	8	560	0,25	0,4	167	1,19
9	8	560	0,25	0,2	285	2,04

Datele din tabelul 4.6 sunt reprezentate grafic în figura 4.9.



Fig, 4.9. *Dependența polinomială de estimare a durabilității burghielor din cele două loturi*

În tabelul 4.7, cu ajutorul relațiilor din figura 4.9, se compară valorile experimentale cu cele estimate utilizând relații polinomiale de gradul 2.

Tabelul 4.7. *Abaterea dintre punctele măsurate și cele estimate cu relația ploinomială de gradul 2, specifică fiecărui lot de fabricație*

Nr. crt	Tensiunea U_0 a curentului electric de așchiere [mV]	Lotul I			Lotul al II-lea		
		Adâncimea medie așchiată [mm]	Adâncimea estimată [mm]	Abaterea [%]	Adâncimea medie așchiată [mm]	Adâncimea estimată [mm]	Abaterea [%]
1	0,2	282	282,000	0	285	285	0
2	0,3	223	220,333	-1,196	229	222,625	-2,784
3	0,4	163	163,000	0	169	169	0
4	0,5	116	110,000	-5,172	117	118,125	0,962
5	0,6	57	61,333	7,602	76	76	0
6	0,7	17	17,000	0	-	-	-

Dacă se admite că o eroare la măsurarea durabilității de 10% este acceptabilă, se constată următoarele:

- Relația polinomială determinată prin 3 puncte estimează toate datele obținute experimental, inclusiv adâncimea totală așchiată, cu o eroare de până la 10%;
- Relația liniară determinată prin 2 puncte extreme, cu o singură excepție (U_0 = 0,6 mV), estimează toate datele experimentale, inclusiv adâncimea totală așchiată, înscriindu-se cu eroarea până în 10%;
- Datele obținute experimental sunt estimate mai bine de ecuația polinomială determinată prin trei puncte;
- Adâncimea totală așchiată este estimată mai bine de ecuația liniară prin 2 puncte.

În concluzie, dacă se dorește estimarea durabilității fiecărui burghiu în funcție de tensiunea curentului electric de așchiere este bine să se folosească ecuația polinomială de gradul 2 determinată de 3 puncte experimentale, iar dacă se dorește estimarea doar a durabilității totale pentru un lot de fabricație în funcție de tensiunea curentului electric de așchiere specifică fiecărui burghiu din loturile de fabricație este suficient să se folosească dependența liniară determinată de 2 puncte experimentale extreme.

4.3.6. Analiza economică la achiziționarea a două loturi de burghie

Având durabilitatea fiecărui burghiu din lot măsurată prin adâncimea așchiată dar și adâncimea totală prelucrată de fiecare lot de burghie se împarte costul achiziționării lotului de burghie la adâncimea totală așchiată determinată experimental sau estimată cu ecuația liniară (care necesită doar două determinări experimentale pentru fiecare lot) şi se determină costul mediu cu scula așchietoare pentru prelucrarea a 1 mm adâncime așchiată. Se compară cele două loturi prin prizma indicatorului de mai înainte şi se va recomanda a se achiziționa burghie

de la firma la care costul mediu cu scula așchietoare este cel mai mic [DAI17a]. Tabelul 4.8 centralizează abordarea economică.

Lotul I de burghie se putea achiziționa din două locații diferite, la prețuri diferite, și anume de 50,5 lei/lot, respectiv 66,3 lei/lot. Evident, pentru experimentări, s-a achiziționat lotul I la prețul de 50,5 lei. Lotul al II-lea s-a găsit doar într-o singură locație, la prețul unic de 87,1 lei/lot și evident, s-a achiziționat la acest preț.

Tabelul 4.8. *Analiza economică a prelucrării cu burghie din cele două loturi*

Lotul de burghie	**Cost lot** [lei]	**Adâncime așchiată** [mm]	**Cost 1 mm adâncime așchiată** [lei]	**Cost prelucrare un alezaj de h = 20 mm** [lei]
Lotul I	50,5/66,3	1465	0,0345/0,0453	0,69/0,91
Lotul al II-lea	87,1	1958	0,0445	0,89

Ca urmare a analizei efectuate (tab. 4.8) se poate concluziona:

- Calitativ burghiele din lotul II de la firma Y sunt mai bune decât burghiele din lotul I de la firma X;
- Dacă un burghiu este folosit doar ocazional atunci este bine să se achiziționeze burghie de la firma X de unde s-a achiziționat lotul I deoarece costul pe mm adâncime așchiată este mai mic comparativ cu lotul al II-lea;
- Dacă s-ar fi achiziționat lotul I la prețul de 66,3 lei și presupunând că durabilitatea lotului este similară lotului achiziționat, atunci este bine să se achiziționeze burghie similare celor din lotul al II-lea deoarece, chiar dacă lotul este mai scump, costul pe mm adâncime de prelucrat este mai mic;
- Dacă nu se determină sau se estimează durabilitatea loturilor de burghie nu s-ar fi știut care lot să fie achiziționat pentru a avea cel mai mic cost pe mm adâncime așchiată;
- Dacă se dorește egalitate de costuri și luând ca referință costul lotului al II-lea se poate determina costul primului lot, $C_{lot\ I}$, cu relația $C_{lot\ I} = C_{lot\ II} \times T_{lot\ I}/T_{lot\ II}$ unde T sunt durabilitățile; în cazul datelor experimentale realizate $C_{lot\ I} = 65,17$ lei;
- Dacă lotul I se poate achiziționa la un preț mai mic decât 65,17 lei este economic să se achiziționeze lotul I; dacă lotul I se poate achiziționa la un preț mai mare (cel mult egal) decât 65,17 lei atunci economic este să se achiziționeze lotul al II-lea;
- Curentul electric de așchiere este sensibil la orice imperfecțiune a tăișurilor burghiului şi este un mijloc simplu, rapid şi cu costuri mici în a aprecia calitatea unui lot de burghie;
- Analizând durabilitatea burghielor din lotul al II-lea se constată că la o diferență 0,1 mV durabilitatea se micșorează sau se mărește cu 18,33%.

4.4. Abordare ecologică la aprecierea calității burghielor

Realizarea de tehnologii nepoluante a devenit o necesitate pentru a păstra mediul curat.

Analiza comparativă a diverselor tehnici şi tehnologii, din punct de vedere ecologic, a devenit o necesitate prin prisma protejării mediului. Abordarea ecologică trebuie raelizată în toate domeniile de activitate umană. Micşorarea poluării dintr-un anumit domeniu are ca o primă abordarea micşorarea cantității de material poluant rezultat în urma unor procese [DAI18].

Cum prelucrarea prin aşchiere reprezintă o modalitate de bază pentru obținerea diverselor piese, orice element rezultat din procesul de aşchiere cu potențial de poluare trebuie analizat, micşorată cantitatea în care se produce sau chiar eliminat total. La ora actuală omenirea se concentrează asupra cantităților mari de materiale poluante şi neglijează cantitățile mici ce rezultă din procese [DAI18].

Studiul de caz abordat pentru analiză se referă la găsirea unei metode mai puțin poluante de apreciere a calității unui lot de scule aşchietoare.

Se propune pentru aprecierea calității burghielor, în loc de încercări la durabilitate, măsurarea curentului electric de aşchiere [DAI18].

Astfel, pentru compararea a două loturi de burghie, prezentată la subcapitolul 4.3, față de metoda clasică, datorită timpului scurt de aşchiere (aproximativ 10 mm adâncime alezaj) cantitatea de aşchii rezultată este foarte mică.

În varianta clasică experimentele s-au efectuat până la apariția uzurii admisibile, timpul de aşchiere efective fiind durabilitatea burghiului. Conform subcapitolului 4.3 durabilitatea la regimul de aşchiere cu care s-au efectuat experimentele este, pentru lotul I de 1465 mm iar pentru lotul al II-lea de 1958 mm.

Volumul de aşchii îndepărtat este:

$V_{lot\ I} = L*f*a_p = 1465*0,25*4 = 1465\ mm^3$
$V_{lot\ II} = 1958*0,25*4 = 1958\ mm^3$

în care,
f [rot/min] – avansul de așchiere
a_p [mm] - adâncimea de aşchiere;
L [mm] – lungimea (adâncimea) alezajului prelucrat.

Pentru cele 2 loturi volumul de material îndepărtat este de:

$V_{lot\ I + lot\ II} = 3423\ mm^3$

În varianta estimării durabilității pe baza măsurării tensiunii curentului electric de aşchiere, rezultă:

L = 10 mm/burghiu

$V_{1\ burghiu}$ = L*s*t = 10*0,25*4 = 10 mm^3

$V_{lot\ I\ +\ lot\ II}$ = 10*20 = 200 mm^3

În procente se constată că s-a redus cantitatea de material îndepărtat cu 94,16% deci în aceeaşi proporție şi deșeurile rezultate din experimente.

4.5. Abordarea eficienței intrării line în aşchiere a burghiului de ϕ8 mm utilizând curentul electric de aşchiere

4.5.1. Argumente privind intrarea lină în aşchiere a burghiului

Burghiul este scula aşchietoare ce lucrează în condițiile cele mai dificile comparativ cu celelalte scule aşchietoare datorită următoarelor motive [DAI17b]:

- Viteza de aşchiere variază de la valoarea zero în centrul burghiului la valoarea maximă la diametrul exterior al acestuia;
- Datorită unghiului de aşezare funcțional, care are valoarea zero de la un diametru de aproximativ 0,3 mm, burghiul nu poate aşchia până în axa sa;
- Căldura degajată la burghiere se acumulează în proporție foarte mare (minim 40%) în scula aşchietoare.

Cele prezentate anterior motivează luarea oricăror măsuri ce conduc la creşterea durabilității. Una dintre aceste măsuri este şi intrarea lină în aşchiere.

4.5.2. Prezentarea dispozitivului de intrare lină în aşchiere

Dispozitivul studiat se află în dotarea laboratorului de Bazele Aşchierii al departamentului Ingineria fabricației din cadrul facultății de Inginerie Tehnologică şi Management Industrial de la Universitatea Transilvania din Braşov.

Dispozitivul pentru intrare lină în aşchiere a burghiului este prezentat în figura 4.10.

4.5.3. Planificarea experimentelor

Această aplicație are la bază rezultatele obținute în aplicația *Aprecierea inovativă a calității unui lot de burghie*, descrisă în acest capitol, la subcapitolul 4.2.

Au fost utilizate cele 30 de burghie având diametrul de Φ8 mm prezentate în aplicația *Aprecierea inovativă a calității unui lot de burghie*, iar curentul electric de aşchiere a fost măsurat cu ajutorul standului experimental din figura 4.2 la aşchierea normală şi cu ajutorul instalației din figura 4.11 la aşchierea cu intrare lină.

Regimul de așchiere a fost: v = 14,07 m/min; s = 0,25 mm/rot; t = D/2 = 4 mm. Totodată s-a calculat forța axială de așchiere (F_x = 2560 N) în vederea reglării dispozitivului de intrare lină în așchiere.

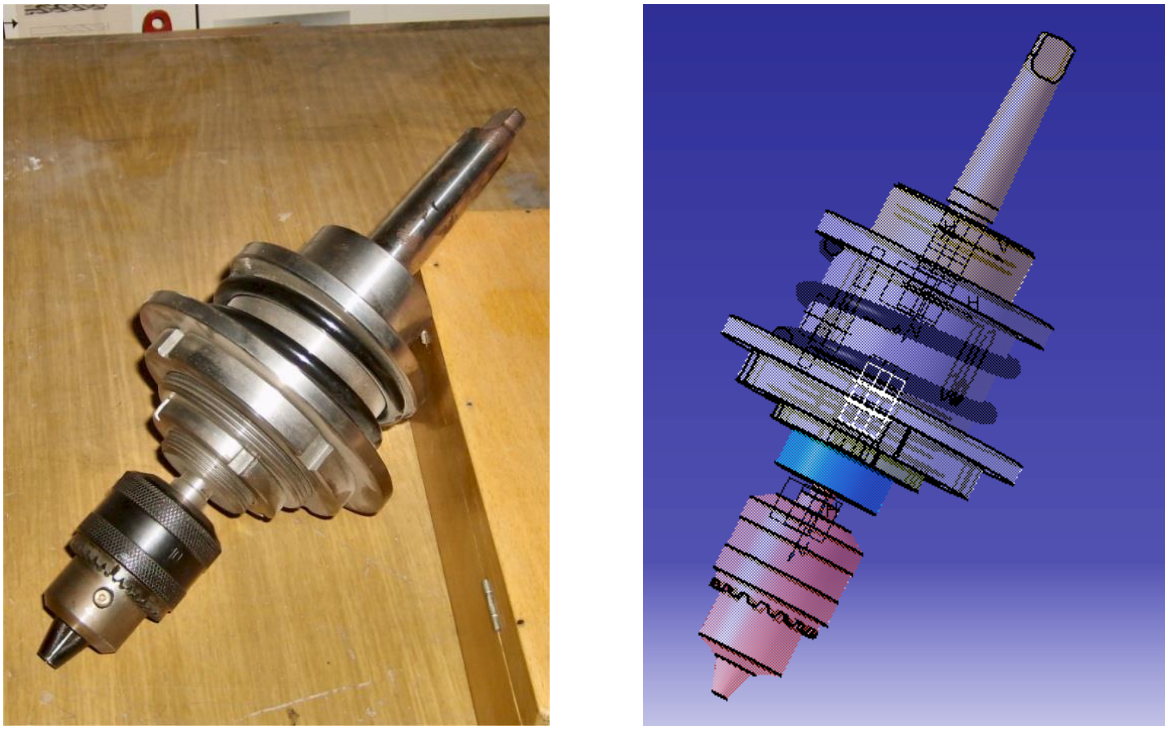


Fig 4.10. *Dispozitivul pentru intrare lină în așchiere*

4.5.4. Efectuarea experimentelor şi prelucrarea rezultatelor

Experimentările efectuate sunt reprezentate sub formă grafică în figura 4.12.

Graficul din figura 4.12 arată, în mod sugestiv, faptul că intrarea lină în așchiere a burghiului determină o scădere a tensiunii curentului electric de așchiere ceea ce implicit arată o temperatură mai mică în zona de așchiere ce are drept consecință creșterea durabilității.

Ca urmare a experimentelor efectuate se pot evidenția următoarele concluzii:

- Intrarea lină în așchiere a burghielor contribuie la mărirea durabilității acestora prin scăderea temperaturii din zona de așchiere; în acest caz așchierea se desfășoară la egalitatea dintre rezistența la așchiere a materialului și forța de așchiere; totodată are loc și o amortizare a vibrațiilor;
- Dacă se face comparație cu burghierea oțelului C45 cu același tip de burghiu, în aceleași condiții dar materialul așchiat este 42MoC11 se constată aceleași valori pentru tensiunea curentului electric de așchiere; cum în cazul așchierii oțelului C45 s-a constatat experimental că la o creștere a tensiunii curentului electric de așchiere de 1 mV durabilitatea scădea cu 18,33%, extrapolând, rezultă o creștere medie a durabilității burghiului prin introducere lină în așchiere de 24,92%;

Fig. 4.11. *Stand experimental pentru măsurarea curentului electric la burghierea cu intrare lină în așchiere [DAI17b]*

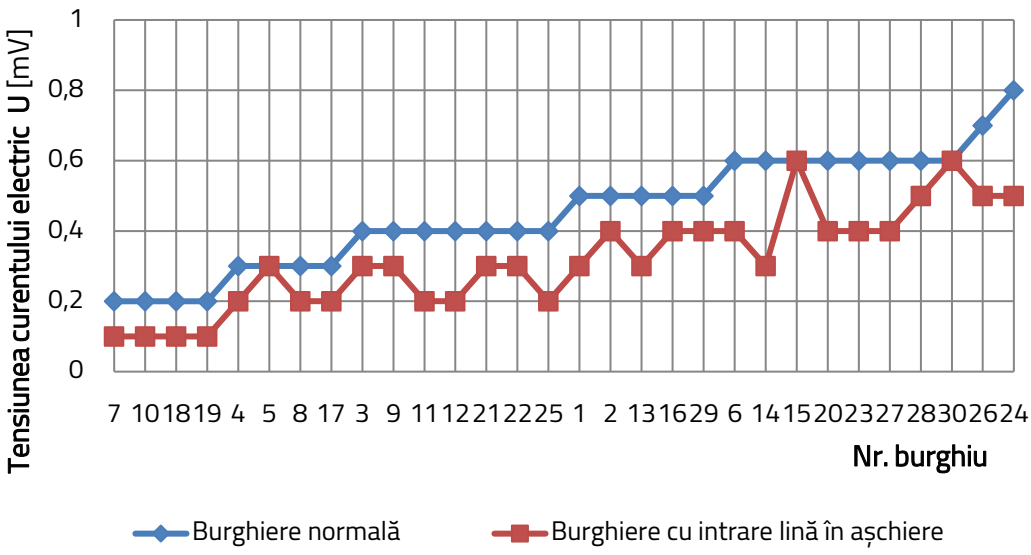


Fig. 4.12. *Graficul variației tensiunii curentului de așchiere în ordinea crescătoare a tensiunii [DAI17b]*

Ca urmare a experimentelor efectuate se pot evidenția următoarele concluzii:

- Intrarea lină în aşchiere a burghielor contribuie la mărirea durabilității acestora prin scăderea temperaturii din zona de aşchiere; în acest caz aşchierea se desfăşoară la egalitatea dintre rezistența la aşchiere a materialului şi forța de aşchiere; totodată are loc şi o amortizare a vibrațiilor;
- Dacă se face comparație cu burghierea oțelului C45 cu acelaşi tip de burghiu, în aceleaşi condiții dar materialul aşchiat este 42MoC11 se constată aceleaşi valori pentru tensiunea curentului electric de aşchiere; cum în cazul aşchierii oțelului C45 s-a constatat experimental că la o creştere a tensiunii curentului electric de aşchiere de 1 mV durabilitatea scădea cu 18,33%, extrapolând, rezultă o creştere medie a durabilității burghiului prin introducere lină în aşchiere de 24,92%;

4.6. Reingineria dispozitivului pentru intrarea lină în aşchiere a burghiului

În timpul dezansamblării dispozitivului în vederea studierii şi reproiectării componentelor sale s-a observat că rolul de intrare lină în aşchiere este îndeplinit cu ajutorul arc elicoidal de compresiune.

Pentru lărgirea gamei de diametre ale burghielor care să poată fi folosite pe acest dispozitiv, trebuie redimensionat arcul elicoidal de compresiune.

În vederea redimensionării arcului de compresiune a fost necesar calculul forței axiale.

4.6.1. Calculul forței axiale de aşchiere la burghiere

Pentru calculul forței de aşchiere axiale este necesară parcurgerea etapelor sintetizate în figura 4.13.

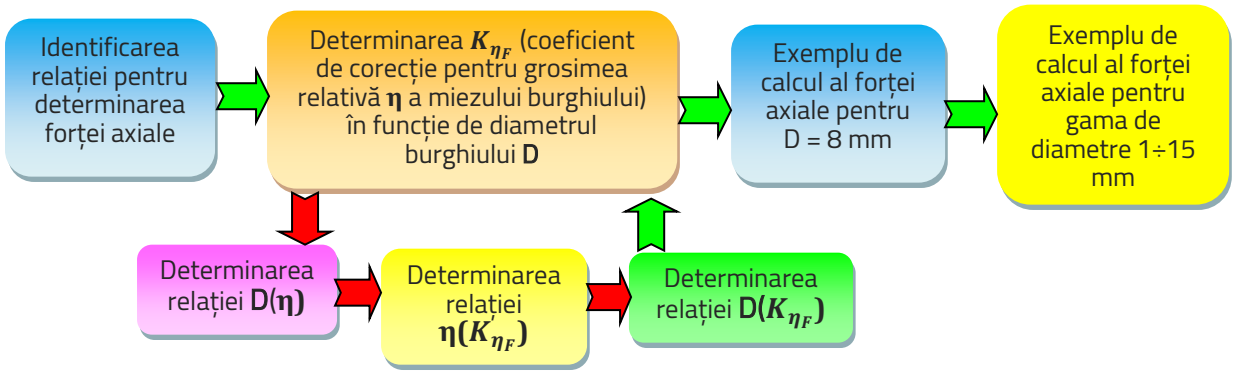


Fig. 4.13. *Etapele de calcul al forței de aşchiere axiale la burghiere*

Tabelul 4.9 centralizează valoarea forței axiale la burghiere în funcție de diametrul burghiului şi de avansul de aşchiere pentru gama de diametre ale burghiului 1÷15 mm.

Tab. 4.9. *Forța axială la burghierea oțelului C45 cu un burghiu din oțel rapid (HSS)*

Diametrul burghiului [mm]	**Avansul de aşchiere** [mm/rot]						
	0,1	**0,15**	**0,2**	**0,25**	**0,3**	**0,35**	**0,4**
1	162,90	218,13	268,33	315,09	359,29	401,47	441,98
2	297,64	398,55	490,27	575,72	656,48	733,54	807,56
3	437,15	585,35	720,06	845,56	964,17	1077,35	1186,07
4	575,14	770,12	947,36	1112,48	1268,53	1417,43	1560,48
5	710,09	950,82	1169,65	1373,51	1566,18	1750,02	1926,62
6	848,35	1135,96	1397,40	1640,95	1871,13	2090,77	2301,76
7	987,97	1322,90	1627,36	1911,00	2179,07	2434,85	2680,56
8	1126,38	1508,30	1855,35	2178,91	2484,34	2775,96	3056,10
9	1270,11	1700,69	2092,10	2456,73	2801,35	3130,18	3446,07
10	1413,22	1892,32	2327,82	2733,54	3117,00	3482,87	3834,35
11	1555,57	2082,94	2562,31	3008,90	3430,97	3833,71	4220,59
12	1697,07	2272,40	2795,38	3282,59	3743,06	4182,43	4604,51
13	1837,62	2460,60	3026,89	3554,44	4053,05	4528,81	4985,84
14	1975,11	2644,71	3253,37	3820,40	4356,31	4867,67	5358,89
15	2113,38	2829,85	3481,12	4087,84	4661,27	5208,42	5734,04
	Forța axială [N]						

4.6.2. Calculul momentului de aşchiere la burghiere

Pentru calculul momentului de aşchiere este necesară parcurgerea acelorași etape ca la calculul forței axiale de aşchiere (fig. 4.13).

Tabelul 4.10 centralizează valoarea momentului la burghiere în funcție de diametrul burghiului şi de avansul de aşchiere în gama de diametre 1÷15 mm.

Tab. 4.10. *Momentul la burghierea oțelului C45 cu un burghiu din oțel rapid (HSS)*

Diametrul burghiului [mm]	**Avansul de aşchiere** [mm/rot]						
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
1	0,0976	0,1372	0,1748	0,2108	0,2457	0,2796	0,3128
2	0,3194	0,4490	0,5717	0,6895	0,8037	0,9148	1,0234
3	0,6389	0,8981	1,1436	1,3794	1,6077	1,8299	2,0471
4	1,0449	1,4688	1,8704	2,2560	2,6293	2,9930	3,3480
5	1,5303	2,1512	2,7393	3,3040	3,8508	4,3832	4,9035
6	2,0901	2,9383	3,7414	4,5128	5,2596	5,9868	6,6974
7	2,7205	3,8244	4,8699	5,8738	6,8460	7,7924	8,7173
8	3,8184	4,8055	6,1191	7,3806	8,0021	9,7912	10,9534
9	4,1811	5,8777	7,4844	9,0273	10,5214	11,9759	13,3974
10	5,0065	7,0380	8,9619	10,8095	12,5984	14,3401	16,0423

11	5,8927	8,2839	10,5483	12,7229	14,8286	16,8785	18,8820
12	6,8381	9,6128	12,2405	14,7640	17,2075	19,5863	21,9112
13	7,8411	11,0229	14,0360	16,9296	19,7315	22,4593	25,1251
14	8,9005	12,5121	15,9323	19,2169	22,3973	25,4936	28,5197
15	10,0150	14,0789	17,9274	21,6232	25,2019	28,6859	32,0909
	Momentul de torsiune [N · m]						

4.6.3. Calculul arcului dispozitivului pentru identificarea gamei de utilizare

Caracteristicile arcului dispozitivului sunt următoarele:

- Material: C65A (Arc 2) cu τ_{at} = 680 N/mm^2 ;
- Diametrul sârmei: d = 6 mm;
- Pasul: t = 10 mm;
- Diametrul exterior D = 34 mm;
- Diametrul mediu: D_m = 28 mm;
- Diametrul interior: $D_1 = D_m - d$ = 28-6 = 22 mm;
- Nr. de spire: n = 4;
- Nr. spirelor de reazem: n_r = 1,5;
- Înălțimea arcului în stare liberă: $H_0 = n \cdot t \cdot (n_r - 0,5) \cdot d$ = 4x10 + 1x6 = 46 mm;
- Indicele arcului: $i = D_m/d$ = 28/6 = 4,67 ([CHI76]); i = 4÷10 ([CHI76];
- Coeficientul de formă: k = 1 + 1,6/i = 1,3426 ([CHI76]);
- $F_{max} = \pi \cdot d^3 \cdot \tau_{at}/8 \cdot k \cdot D_m = \pi \cdot 6^3 \cdot 68/8 \cdot$ 1,3426 · 28 ([CHI76])

  F_{max} = 153,433 daN sau F_{max} = 1534,33 N
- Modul de elasticitate transversal: G = 8·10^4 N/mm^2 (7,8÷8,15) ·10^4 N/mm^2 ;
- Modul de elasticitate longitudinal: E = (19,5÷21) ·10^4 N/mm^2 ;
- Săgeata maximă: $f_{max} = 8 \cdot D_m^3 \cdot n \cdot F_{max}/G \cdot d^4$ ([CHI76]) sau

$f_{max} = 8 \cdot i^3 \cdot n \cdot F_{max}/G \cdot d$, rezultând $f_{max} = 8 \cdot 4,67^3 \cdot 4 \cdot 153,433/8 \cdot 10^3 \cdot 6$ = 10,5 mm;

- Înălțimea minimă de lucru: $H_{min} = H_0 - f_{max}$ = 46-10,5 = 35,5 mm;
- Înălțimea de blocaj a arcului: $H_b = (n + n_r) \cdot d$ = 5,5 · 6 = 33 mm;
- Săgeata de blocaj a arcului: $f_b = H_0 - H_b$ = 46 – 33 = 13 mm;
- Forța de blocaj a arcului: $F_b = F_{max} \cdot f_b/f_{max}$ = 1534,33 · 13/10,5 = 1899,65 N.

4.6.4. Identificarea parametrilor de lucru pentru dispozitivul de intrare lină în aşchiere a burghiului

În identificarea parametrilor de lucru se porneşte de la următorul raționament:

- burghiul trebuie să aibă forța axială maximă puțin mai mare puțin față de forța de blocaj a arcului pentru a se asigura de intrarea lină şi a colțului burghiului;
- forța minimă de pretensionare a arcului să fie mai mică decât forța de aşchiere la diametrul miezului burghiului;

- forța de pretensionare a arcului trebuie să determine o săgeată cel puțin egală cu 0,75 din pasul filetului piuliței de strângere;
- forța axială la tăişul transversal (se va lua diametrul miezului burghiului d_0) trebuie să fie mai mare decât forța de pretensionare.

Forța de pretensionare a arcului va fi:

Dacă f = 1 mm (2/3 rotații a piuliței de pretensionare) forța de pretensionare rezultă:

$$F_{pretens} = G \cdot d \cdot f_{pretens}/8 \cdot i^3 \cdot n = 8000 \cdot 6 \cdot 1/8 \cdot 4{,}67^3 \cdot 4 = 147{,}28 \text{ N}$$

În final rezultă că arcul are următoarele valori pentru forțele de lucru:

$F_{pretens}$ = 147,28 N
F_{max} = 1534,33 N
F_b = 1899,65 N

Caracteristicile arcului arată că dispozitivul de intrare lină în așchiere se va folosi optim în gama de diametre 5÷8 mm cu avansurile recomandate deoarece la diametrul D_b = 5 mm forța de așchiere la miezul burghiului F_{d0} = 197.38 N > $F_{pretens}$ = 147.28 N iar la diametrul de 8 mm forța axială F_x = 1987,14 N de așchiere este aproximativ egală cu forța de blocaj a arcului F_b = 1899,65 N.

4.6.5. Modificarea arcului de lucru la dispozitivul de intrare lină în așchiere a burghiului

a) Pentru a modifica dispozitivul pentru altă gamă de diametre ale burghiului se proiectează un nou arc după următoarele date:

- Materialul arcului: C65A (Arc2) cu $\tau_{at} = 680 \text{ N/mm}^2$;
- Înălțimea liberă a arcului: H_0 = 46 mm;
- Diametrul sârmei: d = 3,6 mm;
- Numărul de spire active: n = 7;
- Nr. spirelor de reazem: n_r = 1,5;
- Pasul arcului: $t = [H_o – (n_r – 0{,}5)d]/n$ = 6,057 mm;
- D = 20,4 mm;
- D_m = 16,8 mm;
- D_i = 13,2 mm;
- $i = D_m/d = 16{,}8/3{,}6 = 4{,}67$;
- $k = 1+1{,}6/d = 1+1{,}6/3{,}6 = 1{,}44$;
- $F_{max} = \pi \cdot d^3 \cdot \tau_{at}/8 \cdot k \cdot D_m = \pi \cdot 3{,}6^3 \cdot 68/8 \cdot 1{,}44 \cdot 16{,}8 = 515$ N;
- $f_{max} = 8 \cdot i^3 \cdot n \cdot F_{max}/G \cdot d = 8 \cdot 4{,}67^3 \cdot 7 \cdot 51{,}5/8 \cdot 10^3 \cdot 3{,}6 = 10{,}2$ mm;

- $H_{min} = H_0 - f_{max} = 46 – 10,200 = 35,800$ mm;
- H_b (înălțimea de blocaj) = $(n+ n_r) * d = 8,5 * 3,6 = 30,6$ mm;
- f_b (săgeata de blocaj) = $H_0 - H_b = 46 – 30,6 = 15,4$ mm;
- F_b (forța de blocaj) = $F_{max} * f_b / f_{max} = 515 * 15,4/10,200 = 777,55$ N;
- $F_{pretens} = G * d * f_{pretens}/8 * i^3 * n = 8000 * 3,6 * 1/8 * 4,67^3 * 7 = 50,5$ N.

Utilizând arcul cu caracteristicile de mai sus dispozitivul de intrare lină în aşchiere poate fi folosit în gama de diametre 2÷4 mm.

b) Dacă se utilizează ambele arcuri concomitent caracteristicile vor fi:

- $F_{pretens} = F_{pretens\ 1} + F_{pretens\ 2} = 147,28+50,50 = 197,28$ N;
- $F_{max} = F_{max\ 1} + F_{max\ 2} = 1534,33+515 = 2049,33$ N;
- $F_b = F_{b\ 1} + F_{b\ 2} = 1899,65 + 777,55 = 2677,2$ N.

În acest caz gama de diametre pentru care se poate folosi dispozitivul este cuprinsă între 5÷10 mm și se va așchia în felul următor:

- **în gama de diametre 2÷4 mm se va folosi arcul cu diametrul D = 20,4 mm;**
- **în gama de diametre 5÷8 mm se va folosi arcul cu diametrul D = 34 mm;**
- **în gama de diametre 9÷10 mm se vor folosi ambele arcuri, concomitent.**

4.7. Concluzii

- Se propune a se estima calitatea unui tăiș la burghiu prin măsurarea tensiunii curentului electric de așchiere rezultat la prelucrarea materialelor metalice, bune conducătoare de electricitate, cu tăișuri, de asemenea, bune conducătoare de electricitate;
- S-a demonstrat experimental că tensiunea curentului electric de așchiere evidențiază orice imperfecțiune a tăișului așchietor la burghie (ciobituri pe tăiș, colțuri ale burghiului cu rază mare, rugozitate necorespunzătoare a fețelor de așezare, tăiș transversal necorespunzător) și în consecință, calitatea acestuia;
- A fost elaborat un algoritm de apreciere a calității unui lot de burghie măsurând doar tensiunea curentului electric de așchiere;
- Se propune un algoritm de achiziționare comparativă a burghielor utilizând măsurarea tensiunii curentului electric de așchiere și încercări de durabilitate doar pentru 2 sau 3 burghie;
- Mărimea intervalului de variație a tensiunii curentului electric de așchiere la un lot de burghie indică și elemente de capabilitate;
- Au fost analizate două tipuri de regresii care se propun a fi folosite în a estima durabilitatea unui lot de burghie, și anume, regresia liniară și regresia polinomială de gradul al 2-lea;
- Ecuația liniară estimează foarte bine durabilitatea totală a unui lot de burghie, necesitând doar două încercări la durabilitate, iar ecuația polinomială de gradul al 2-lea estimează foarte bine durabilitatea fiecărui burghiu din lot dar necesită încercări la durabilitate pentru 3 burghie din lot;

- Se evidențiază că metoda propusă este și ecologică față de metoda clasică de încercare la durabilitate, cantitatea de așchii rezultate din experimentări fiind doar de 5,84% din cantitatea de așchii ce ar fi rezultat din încercări clasice la durabilitate a fiecărui burghiu din lot;
- Este demonstrat faptul că intrarea lină în așchiere a burghiului, prin experimentări clasice, conduce la o creștere a durabilității burghiului; se propune înlocuirea experimentărilor clasice cu măsurarea tensiunii curentului electric de așchiere la burghiere și totodată se propune algoritmul experimentărilor;
- Experimentele au arătat că intrarea lină a burghiului în așchiere conduce la scăderea tensiunii curentului electric de așchiere; comparația la burghierea oțelului C45, cu același tip de burghiu, în aceleași condiții dar materialul așchiat fiind 42MoC11, arată obținerea de valori similare pentru tensiunea curentului electric de așchiere; în cazul așchierii oțelului C45, experimental, se constată că la o creștere a tensiunii curentului electric de așchiere de 1 mV durabilitatea scade cu 18,33%; extrapolând, rezultă o creștere medie a durabilității burghiului prin introducere lină în așchiere de 24,92%;
- A fost analizat un dispozitiv existent de intrare lină în așchiere a burghiului; se determină prin calcule gama de utilizare, aceasta fiind de 5÷8 mm la burghierea oțelului C45;
- În determinarea gamei de utilizare a dispozitivului de intrare lină în așchiere a fost nevoie de calculul forței axiale și a momentului de așchiere; s-a constatat că legătura dintre diametrul burghiului și grosimea relativă a miezului burghiului era dată pe un interval de valori ceea ce făcea dificil alegerea unei valori neexistând o regulă în acest sens;
- Atât în calculul forței axiale la burghiere, cât și în calculul momentului de așchiere, s-a determinat cu exactitate legătura dintre diametrul burghiului și coeficientul de corecție pentru grosimea relativă a miezului burghiului; totodată, tabelar, în gama de diametre de 1÷15 mm și în funcție de avansul de așchiere este dată atât mărimea forței axiale cât și a momentului de torsiune la burghiere;
- A fost realizată reingineria dispozitivului de intrare lină în așchiere și prin introducerea unui al doilea arc în interiorul celui existent s-a mărit gama de utilizare a dispozitivului în intervalul 2÷10 mm; pentru intervalul 2÷4 mm se va utiliza arcul cu D = 20,4 mm, pentru gama 5÷8 se va utiliza arcul cu D = 34 mm iar pentru gama 9÷10 se vor utiliza, concomitent, ambele arcuri.

Capitolul 5
ABORDAREA INOVATIVĂ A UTILIZĂRII CURENTULUI ELECTRIC DE AȘCHIERE LA STRUNJIRE

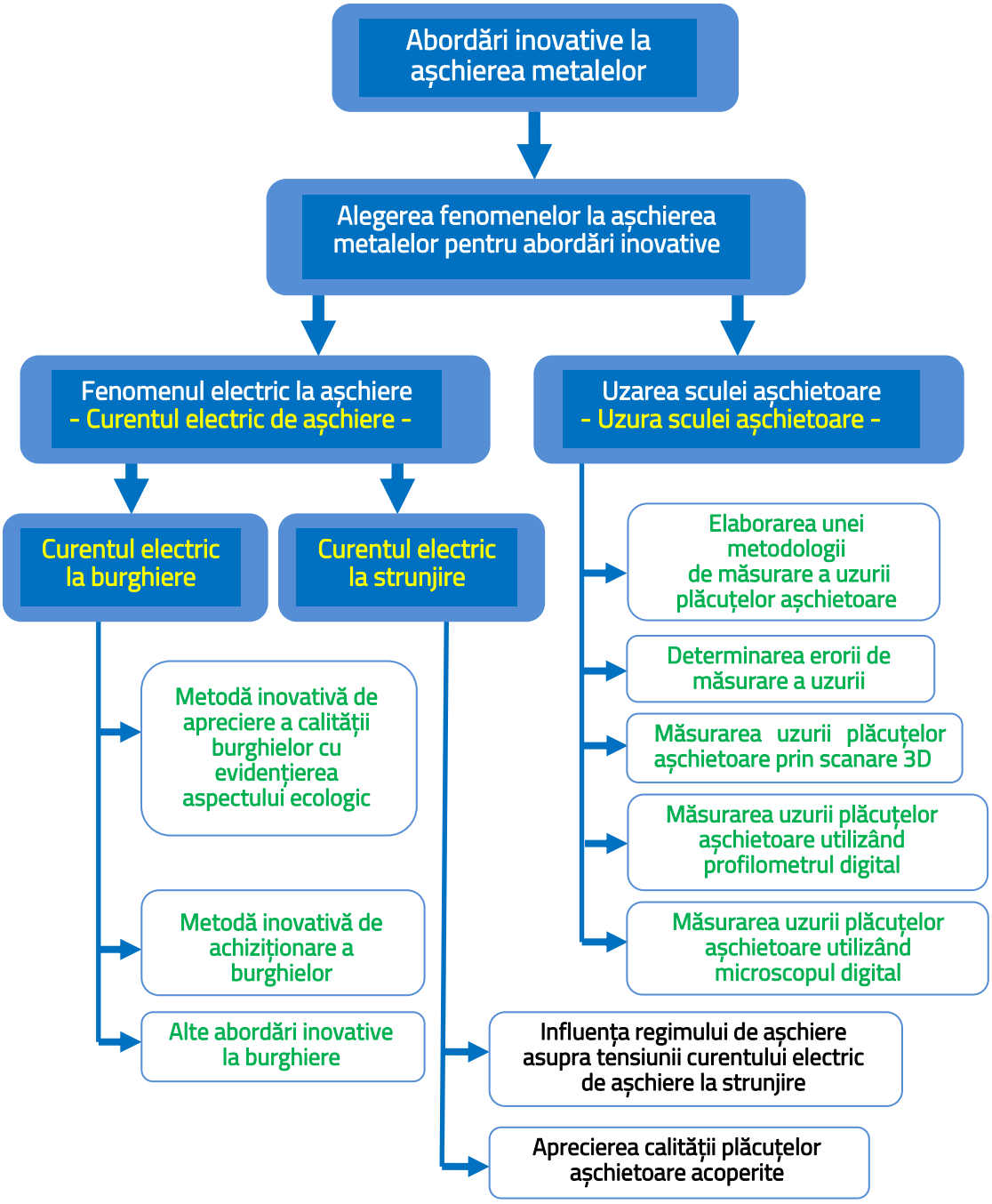


Figura 5.1. *Organigrama capitolului 5*

5.1. Stand de măsurare a curentului electric de aşchiere la strunjire

Pentru măsurarea tensiunii curentului electric de aşchiere există o mare varietate de instrumente cu precizie ridicată.

În figura 5.2 este prezentat standul de măsurare cu multimetrul ce are software pentru achiziție date.

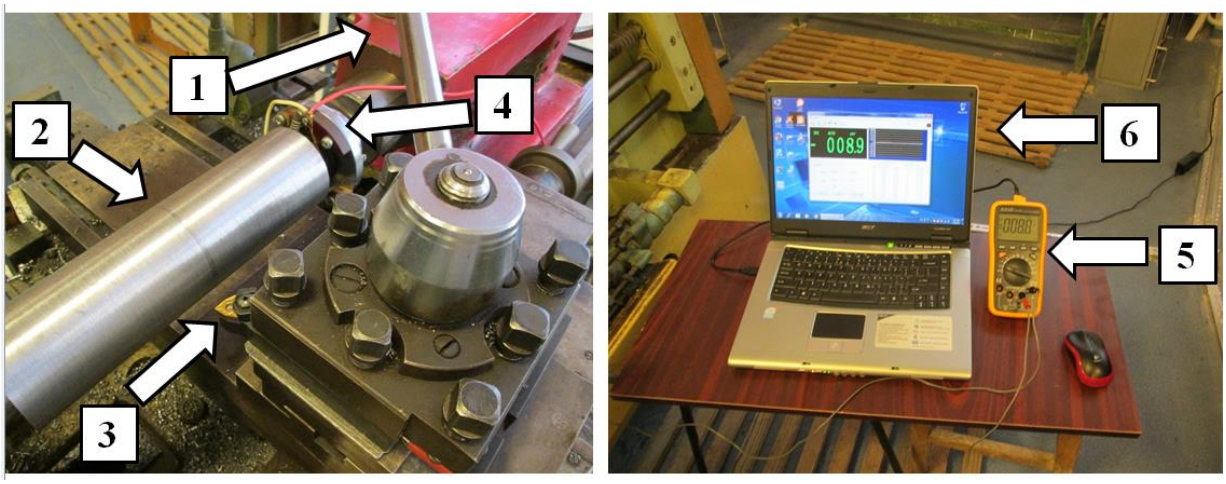


Fig. 5.2. *Stand de măsurare cu multimetru ce are conexiune USB și software pentru achiziție date*

Componența standului experimental este următoarea:

1 – strung SNB 400x1000;

2 – epruvetă din C45;

3 – plăcuță din carbură metalică P30;

4 – colector de curent electric la aşchiere;

5 – multimetru digital clasic sau multimetru digital cu software de achiziție date, minim o achiziție pe secundă;

6 – laptop.

5.2. Îmbunătățirea colectorului de curent electric la strunjire

În cadrul instalației utilizate pentru măsurarea tensiunii curentului electric de aşchiere la strunjire s-a constatat că există posibilitatea îmbunătățirii colectorului de curent electric. În figura 5.2 este prezentat colectorul de curent electric, îmbunătățit, utilizat la strunjire.

Varianta îmbunătățită (fig. 5.3) are conductorii colectori mai subțiri, lucrează în acelaşi plan, s-au eliminat canalele de orientare a conductorilor colectori şi s-au schimbat arcurile de tensionare cu unele mai mari, de tensiuni diferite. Varianta îmbunătățită s-a comportat foarte bine dinamic, rezistența electrică a acestuia fiind practic nulă. Se constată faptul că bucşa colectoare este din cupru iar conductorii colectori sunt tot din cupru. În felul acesta s-a eliminat

posibilitatea apariției unui curent electric parazit datorită încălzirii prin frecare a conductorilor colectori, cât şi a bucşei colectoare.

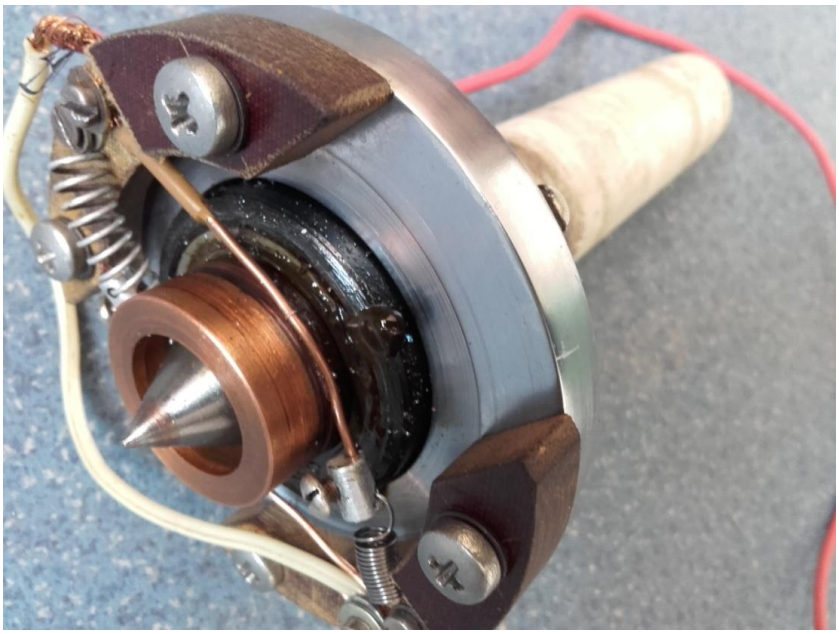


Fig. 5.3. *Variantă îmbunătățită a colectorul de curent*

5.3. Influența regimului de aşchiere asupra tensiunii curentului electric de aşchiere la strunjirea cu plăcuțe aşchietoare acoperite

5.3.1. Programarea și efectuarea experimentelor

În acest subcapitol se va studia influența parametrilor regimului de așchiere asupra tensiunii curentului electric la strunjirea oțelului C45 cu plăcuțe din carbură metalică, titanizată, tip WNMG080408, achiziționată de la producătorul intitulat generic B. Plăcuța aşchietoare are 6 tăișuri și a fost vizualizată la microscop astfel încât toate muchiile aşchietoare să prezinte aceeași stare (pentru a avea, inițial, aceeași tensiune a curentului electric de aşchiere). Cu un tăiș s-a aşchiat maxim 6÷7 secunde (până când s-a constatat stabilizarea tensiunii curentului electric de aşchiere) de 5 sau 6 ori. Această strategie a permis influența la minim a uzurii tăișului aşchietor asupra tensiunii curentului electric de aşchiere.

Pentru programarea experimentelor s-a folosit planul factorial complet, iar sistemul software utilizat este Design Expert versiunea 11.

În anexa 9 sunt exemplificate două rapoarte de achiziție date. Din analiza tuturor rapoartelor s-a constatat că tensiunea curentului electric de aşchiere s-a stabilizat între 4 și 5 secunde de la începerea aşchierii, indiferent de regimul de aşchiere utilizat.

Rezultatele experimentelor sunt centralizate în tabelul 5.1.

Tab. 5.1. *Rezultatele experimentelor utilizând planul factorial complet*

Nr. experiment	Viteza [m/min]	Avans [mm/rot]	Adâncime [mm]	Tensiune [mV]
1	86	0,208	2	2,6
2	137	0,151	2	3,5
3	137	0,151	1,5	3,8
4	107	0,208	2	3,4
5	137	0,25	2	5
6	86	0,208	1,5	3
7	107	0,208	1	3,2
8	107	0,151	2	3,3
9	137	0,151	1	3,9
10	86	0,25	1,5	3,2
11	107	0,151	1,5	3,4
12	137	0,25	1	3,5
13	137	0,208	1	3,2
14	107	0,25	1	3,5
15	86	0,25	1	3,1
16	107	0,208	1,5	3,2
17	107	0,25	2	3,7
18	107	0,25	1,5	5,5
19	107	0,151	1	3,3
20	137	0,208	2	4,8
21	86	0,25	2	3,5
22	137	0,25	1,5	4,6
23	86	0,208	1	2,9
24	86	0,151	1	3,3
25	137	0,208	1,5	3,9
26	86	0,151	1,5	2,9
27	86	0,151	2	2,4

5.3.2. Prelucrarea datelor. Analiza ANOVA

Pentru a vedea în ce măsură influențează fiecare parametru al regimului de așchiere valoarea tensiunii curentului electric de așchiere s-a realizat o analiză ANOVA. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 5.2 iar în tabelul 5.3 sunt indicatorii statistici obținuți în urma analizei ANOVA.

Tab 5.2. *Analiza* ANOVA					
Sursă	**Suma pătratelor**	**Grade de libertate**	**Media pătratică**	**Valoarea F**	**Prag p Prob > F**
Model	8,83	7	1,26	5,47	0,0015
A-Viteza	4,58	1	4,58	19,87	0,0003
B-Avans	0,1827	1	0,1827	0,7928	0,3844
C-Adancime	0,4620	1	0,4620	2,01	0,1730
AB	0,0318	1	0,0318	0,1378	0,7145
AC	1,01	1	1,01	4,36	0,0504
BC	0,0321	1	0,0321	0,1393	0,7131
ABC	0,0952	1	0,0952	0,4132	0,5281
Rezidual	4,38	19	0,2304		
Total	13,21	26			

Tabelul 5.3. *Indicatori statistici rezultați în urma analizei* ANOVA	
Indicator	**Valoare**
Deviația standard	0,4800
Media	3,54
Coeficient de variație %	13,56
R^2	0,6685
R^2 ajustat	0,5463
R^2 predictibil	0,4780
Raport semnal/zgomot	10,6912

Indicatorul R^2 măsoară variația în jurul mediei explicată de modelul abordat. Acesta este ajustat în funcție de numărul de termeni ai modelului. Cu cât se introduc în model termeni nesemnificativi statistic, cu atât valoarea R^2 ajustat va scădea.

Deoarece indicatorul R^2 este de 0,6685 se vor identifica și elimina valorile aberante din cadrul modelului.

Rezultatele analizei ANOVA dupa eliminarea valorii aberante sunt prezentate în tab. 5.4.

R^2 predictibil măsoară variația noilor date experimentale introduse, care pot fi explicate de modelul actual. Ca modelul să poată fi folosit pentru optimizări și predicții referitoare la variația răspunsului în funcție de noi valori ale parametrilor de intrare, diferența dintre R^2 ajustat și R^2 predictibil trebuie sa fie mai mică decât 0,2. În acest caz această cerință este îndeplinită.

Raportul semnal/zgomot trebuie să fie mai mare decât 4 pentru ca modelul abordat să poate fi utilizat în predicții. Și în acest caz această cerință este îndeplinită.

Tabelul 5.4. *Indicatori statistici rezultați în urma analizei* ANOVA *dupa eliminarea a doua valori aberante*

Indicator	Valoare
Deviația standard	0,2203
Media	3,46
Coeficient de variație %	6,36
R^2	0,9105
R^2 ajustat	0,8737
R^2 predictibil	0,7507
Raport semnal/zgomot	20,9610

În urma analizei ANOVA rezultă și funcția matematică liniară ce modelează datele experimentale introduse și este folosită pentru predicții. Aceasta este:

$$U = -0,276 + 0,051402 \cdot v_c + 27,53036 \cdot f + 1,87008 \cdot a_p - 0,34882 \cdot v_c \cdot f - \\ - 0,032826 \cdot v_c \cdot a_p - 23,22924 \cdot f \cdot a_p + 0,29698 \cdot v_c \cdot f \cdot a_p \quad (5.1)$$

în care,

U [mV] – tensiunea curentului electric la așchiere;

V_c [m/min] – viteza de așchiere;

f [mm/rot] – avansul de așchiere;

a_p [mm] – adâncimea de așchiere.

Reprezentarea grafică a funcției (5.1) și a datelor experimentale obținute este prezentată în figura 5.4, iar reprezentarea grafică a influenței vitezei și avansului asupra tensiunii curentului electric pentru fiecare valoare a adâncimii de așchiere este arătată în figurile 5.5, 5.6 și 5.7.

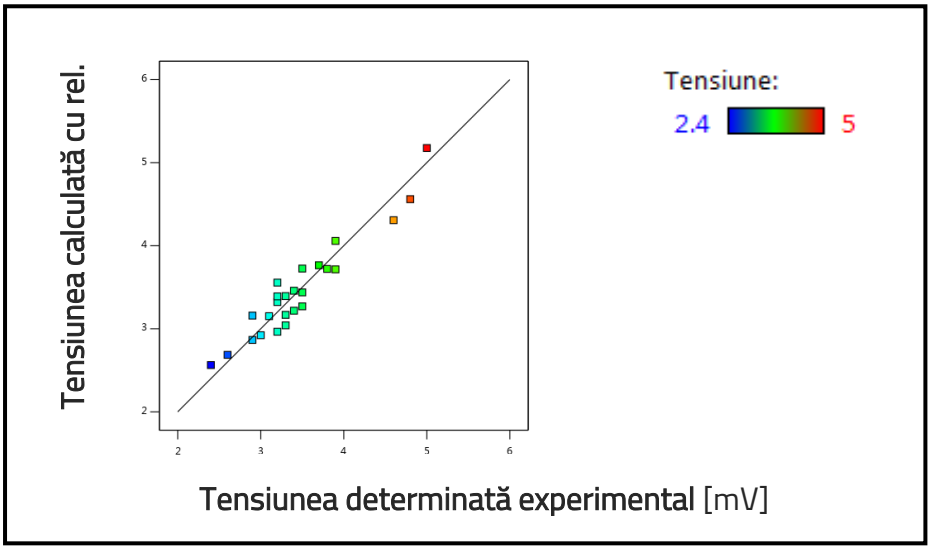


Fig. 5.4. *Reprezentarea grafică a funcției liniare (5.1)*

Punctele roșii de pe graficele 5.8÷5.10 reprezintă poziția valorilor obținute în urma experimentelor față de poziția prezisă de funcția liniară.

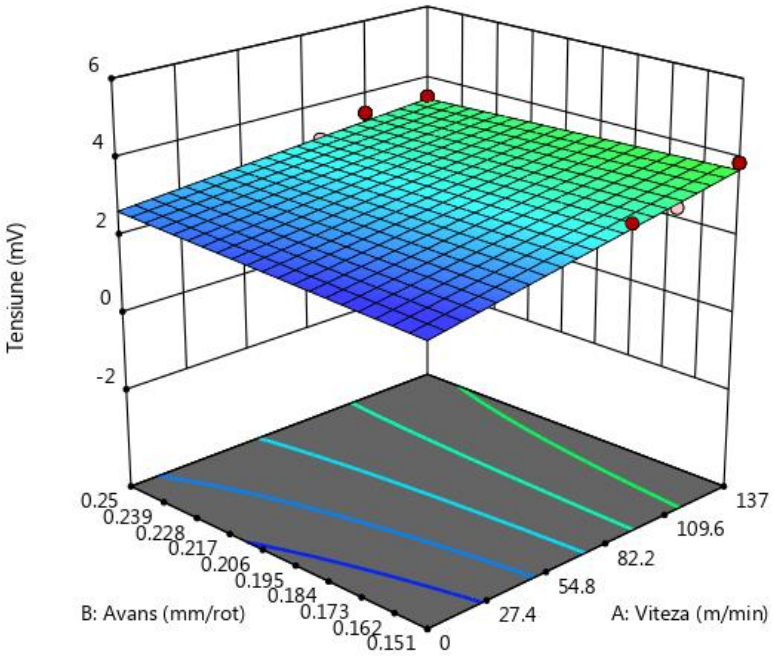


Fig. 5.5. *Influența vitezei și avansului asupra tensiunii curentului de așchiere pentru a_p = 1 mm*

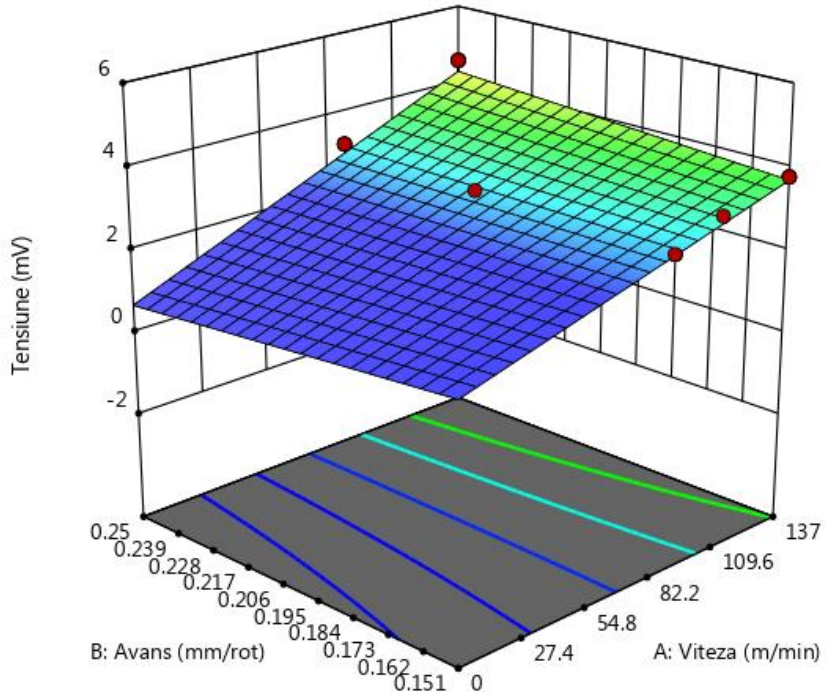


Fig. 5.6. *Influența vitezei și avansului asupra tensiunii curentului de așchiere pentru a_p = 1,5 mm*

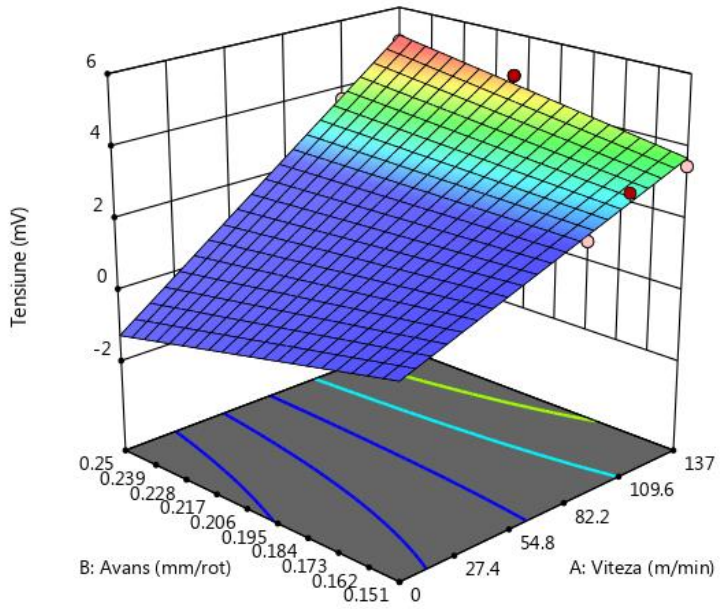


Fig. 5.7. *Influența vitezei și avansului asupra tensiunii curentului de așchiere pentru a_p = 2 mm*

5.3.3. Optimizarea regimului de așchiere, folosind curentul electric de așchiere, în vederea creșterii durabilității sculei așchietoare, la strunjire

Dupa cum s-a menționat în capitolul 1, calitatea inițială a unui tăiş aşchietor poate fi apreciată prin valoarea tensiunii curentului electric de aşchiere inițial. Cu cât această valoare este mai mare, cu atât temperatura inițială este mai mare datorită imperfecțiunilor tăişului aşchietor. Astfel, se creează o relație directă între uzura tăișului aschietor și tensiunea curentului electric inițial. Cu cât valoarea tensiunii va fi mai mare, cu atât intensitatea uzării va fi mai mare, deci durabilitatea mai mică [DIT97, DIT99A, DIT08].

În acest mod criteriul ales pentru mărirea durabilității sculei aschietoare este minimizarea tensiunii curentului electric. Soluția generată de modelul experimental creat anterior este prezentată în figura 5.8.

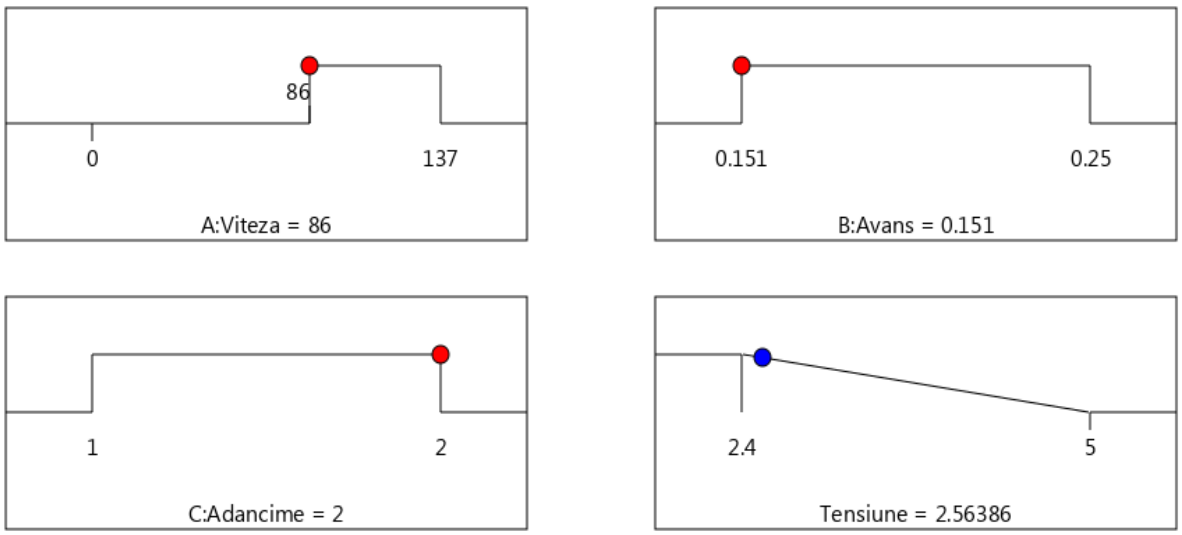


Fig. 5.8. *Valorile propuse pentru parametrii regimului de așchiere, fără restricții, pentru a obține tensiunea minimă a curentului electric de așchiere*

Fig. 5.9. *Valori ale parametrilor regimului de așchiere recomandate de producătorul B*

Valorile recomandate de producătorii de plăcuțe așchietoare fixate mecanic sunt determinate pe baza optimizării durabilității tăișului așchietor și depind, în special, de materialul de prelucrat [DIT97, DIT08].

Comparând valorile parametrilor regimului de așchiere rezultate ca urmare a minimizării curentului electric de așchiere și prezentate în figura 5.8, cu valorile recomandate de producător și arătate în figura 5.9, rezultă următoarele:

- Valoarea vitezei de așchiere rezultată ca urmare a optimizării, v_c = 86 m/min, nu se încadrează în intervalul de viteze recomandat de producător (fig. 5.9);
- Valoarea avansului de așchiere opținută ca urmare a optimizări, f = 0,151 mm/rot, se încadrează în intervalul de avansuri recomandat de producător (fig. 5.9);
- Valoarea optimizată a adâncimii de așchiere, a_p = 2 mm, se încadrează în intervalul de avansuri recomandat de producător (fig. 5.9).

Pentru a nu altera valoarea recomandată de producător a vitezei de așchiere se va lua ca valoare optimizată a regimului de așchiere valoarea minimă din intervalul recomandat (fig. 5.9) ceea ce înseamnă că modelul optimizării regimului de așchiere având drept scop minimizarea curentului electric de așchiere trebuie să includă și restricții, acestea fiind intervalul de valori recomandat de producător pentru parametrii regimului de așchiere.

În consecință, regimul de așchiere optimizat este următorul:

v_c = 140 m/min; f = 0,151 mm/rot, a_p = 2 mm.

Acestui regim de așchiere îi corespunde o valoare a tensiunii curentului electric de așchiere de,

U = 3,79327 mV

5.4. Tehnică inovativă privind aprecierea calității plăcuțelor așchietoare fixate mecanic

5.4.1. Identificarea aplicației și stabilirea metodolgiei privind aprecierea calității plăcuțelor așchietoare

În cadrul procesului de strunjire a metalelor sunt folosite plăcuțe așchietoare care pot fi achiziționate de la diferiți producători. Deoarece oferta este bogată, achiziția trebuie realizată după o analiză economică si încercări experimentale.

În această aplicație se utilizează curentul electric ce apare la așchierea metalelor pentru a dezvolta o metodologie de achiziție a plăcuțelor din carbură metalică.

S-au achiziționat trei loturi de plăcuțe din carbură metalică, titanizate, de la trei producători diferiți A, B și C. Fiecare lot conține 10 plăcuțe de tip WNMG080408, iar suportul utilizat la strunjire este de tip MWLNR 2020 K 08N. Suportul asigură un unghi de așezare de $\alpha = 5^0$ și un unghi de degajare $\gamma = -5^0$. Plăcuțele sunt asemănătoare ca și material (tip P pentru oțel), titanizate, și cu o formă asemănătoare a fețelor de degajare. Experimentele s-au realizat cu 9 plăcuțe, pe 18 tăișuri (2 tăișuri de fiecare plăcuță), din fiecare lot în parte (câte 1 plăcuță din fiecare lot a fost destinată altor măsurători) iar materialul de prelucrat, prin strunjire, este C45. Caracteristicile oțelului C45 sunt prezentate în anexa 1 (Certificat de inspecție - analiză 3.1, nr. 2498788/1 din 17.07.2017)

Metodologia de achiziție cuprinde o analiză a calității și o analiză economico-calitativă.

Etapele experimentale ale analizei calității sunt sintetizate în figura 5.10.

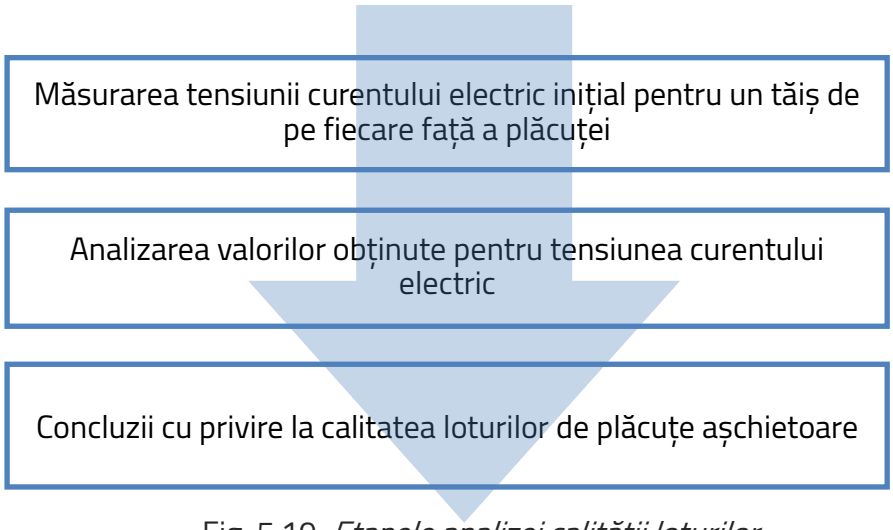


Fig. 5.10. *Etapele analizei calității loturilor*

Etapele analizei economico-calitative continuă analiza calității loturilor și sunt prezentate în fig. 5.11.

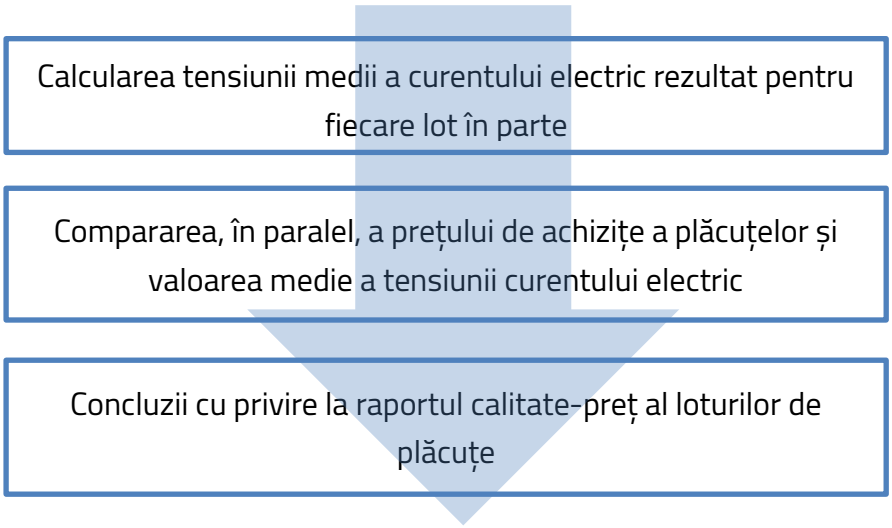
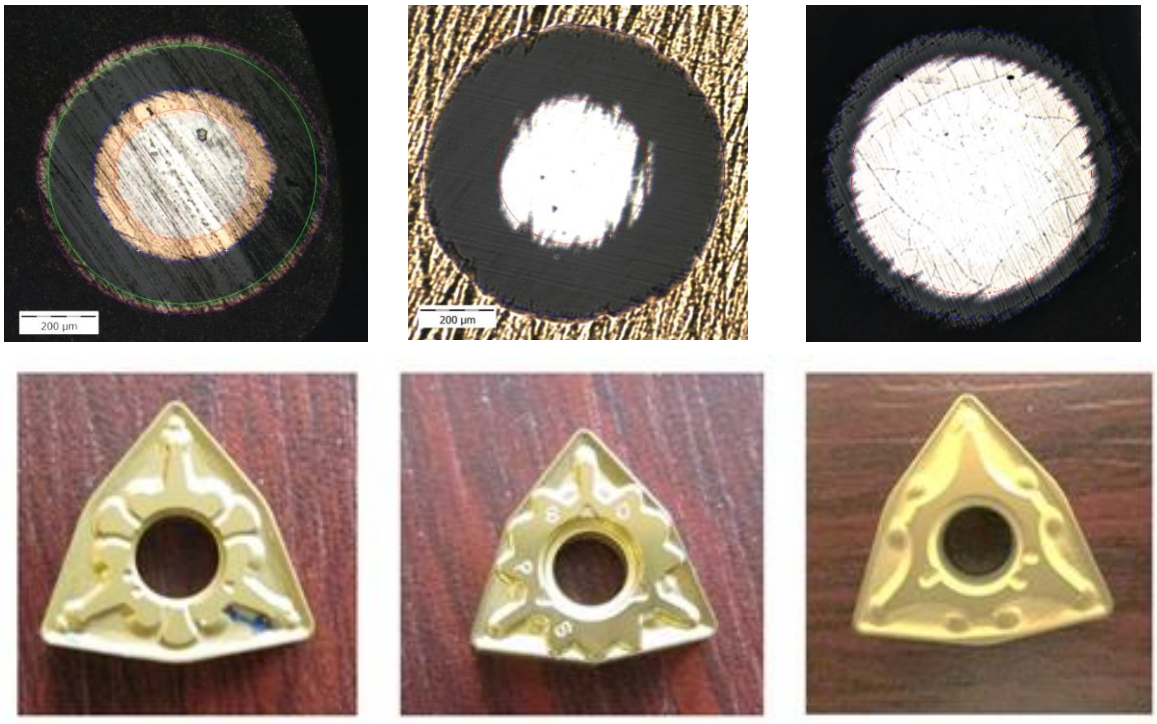


Fig. 5.11. *Etapele analizei economico-calitative*

5.4.2. Determinarea grosimii straturilor de acoperire a plăcuțelor din carbură metalică

Grosimea straturilor de acoperire pentru cele trei tipuri de plăcuțe s-a efectuat de către firma Anton Paar TriTec SA, Rue de la Gare 4 (Galileo Center) 2034 Peseux, Switzerland, în cadrul Institutului de Cercetare – Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov ([DUB17a] și anexele 6A, 6B și 6C), cu aparatură de ultimă generație. Principiul metodei constă în rotirea unei bile, în aceeași poziție, pe suprafața acoperită a plăcuței din carbură metalică. Bila este apăsată cu o forță constantă iar pe ea se pune o pastă cu diamant. În acest mod, prin abrazare, se străpunge stratul de acoperire, rezultând o calotă sferică ce este vizualizată la microscop (fig. 5.12 A, B și C).



Producător A Producător B Producător C

Fig. 5.12. *Imagini ale diametrelor calotelor pentru cele trei tipuri de plăcuțe*

Schema determinării grosimii straturilor de acoperire este prezentată în figura 5.13 iar formula de calcul (dedusă de autorul tezei de doctorat), introdusă în softul microscopului, este dată de relația (5.2).

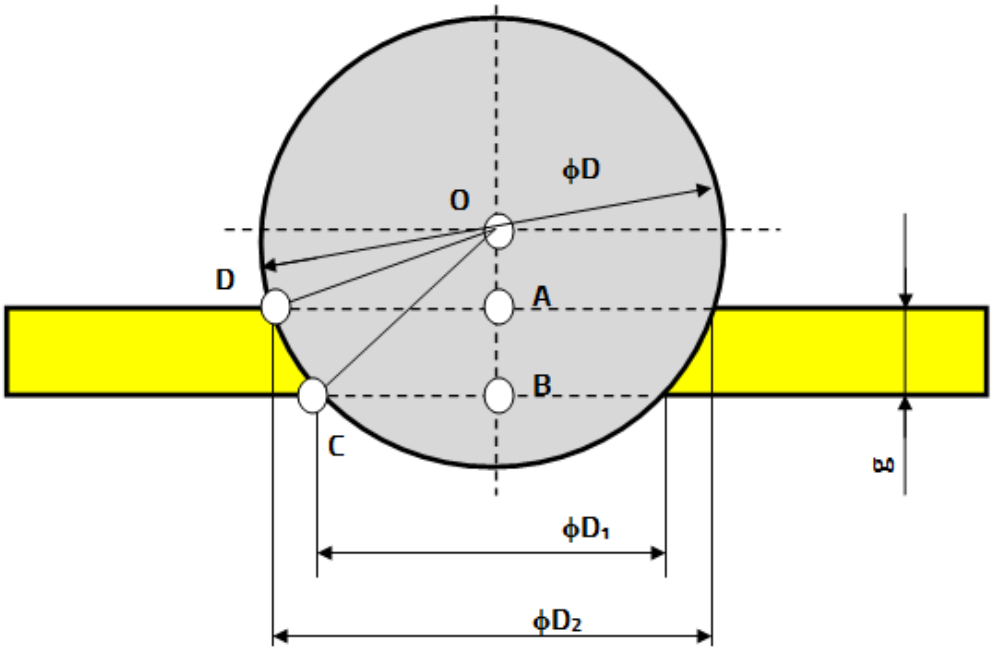


Fig. 5.13. *Schema determinării relației pentru calculul grosimii "g" a startului de acoperire*

$$g = AB = OB - OA = \sqrt{OC^2 - BC^2} - \sqrt{OD^2 - AD^2}$$

$$g = \frac{\sqrt{D^2 - D_1^2} - \sqrt{D^2 - D_2^2}}{2} \qquad (5.2)$$

Din figura 5.12 se constată că plăcuța de la producătorul A este acoperită cu trei straturi diferite, ultimul fiind din nitrură de titan (TiN) iar celelalte două plăcuțe, de la producătorul B și producătorul C, sunt acoperite cu un singur strat de TiN.

Rezultatele măsurătorilor (anexa 6) sunt centralizate în tabelul 5.5.

Tabelul 5.5. *Grosimea măsurată a straturilor de acoperire*

	Strat 1 (exterior) [µm]	**Strat 2 (intermediar)** [µm]	**Strat 3 (interior)** [µm]	**Total** [µm]
Producător A	0,807	2,755	0,950	4,512
Producător B	4,907	-	-	4,907
Producător C	1,979	-	-	1,979

5.4.3. Determinarea durității și aderenței straturilor de acoperire a plăcuțelor din carbură metalică

Duritatea straturilor exterioare de acoperire pentru cele trei tipuri de plăcuțe s-a efectuat de către firma Anton Paar TriTec SA, Rue de la Gare 4 (Galileo Center) 2034 Peseux, Switzerland, tot în cadrul Institutului de Cercetare – Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov ([DUB17b] și anexa 7). Unitatea de măsură utilizată este Vickers. Raportul măsurării durităților pentru cele 3 tipuri de plăcuțe așchietoare este amplu (se întinde pe 53 de pagini). Anexa 7 prezintă un extras din raport doar pentru o singură plăcuță așchietoare.

Aderența straturilor de acoperire la materialul suport, pentru cele trei tipuri de plăcuțe, s-a efectuat tot de către firma Anton Paar TriTec SA, Rue de la Gare 4 (Galileo Center) 2034 Peseux ([ESC17] și anexa 8), în locația din Elveția.

Metoda de determinare a aderenței stratului de acoperire este zgârierea suprafeței cu un con de diamant cu unghiul de 120^0 și raza la vârf de 200 μm sub acțiunea unei forțe normale. Aderența se consideră valoarea forței normale minime, Lc1, la care are loc exfolierea stratului de acoperire. Aparatura cu care s-au făcut determinările este prezentată în fig. 5.14.

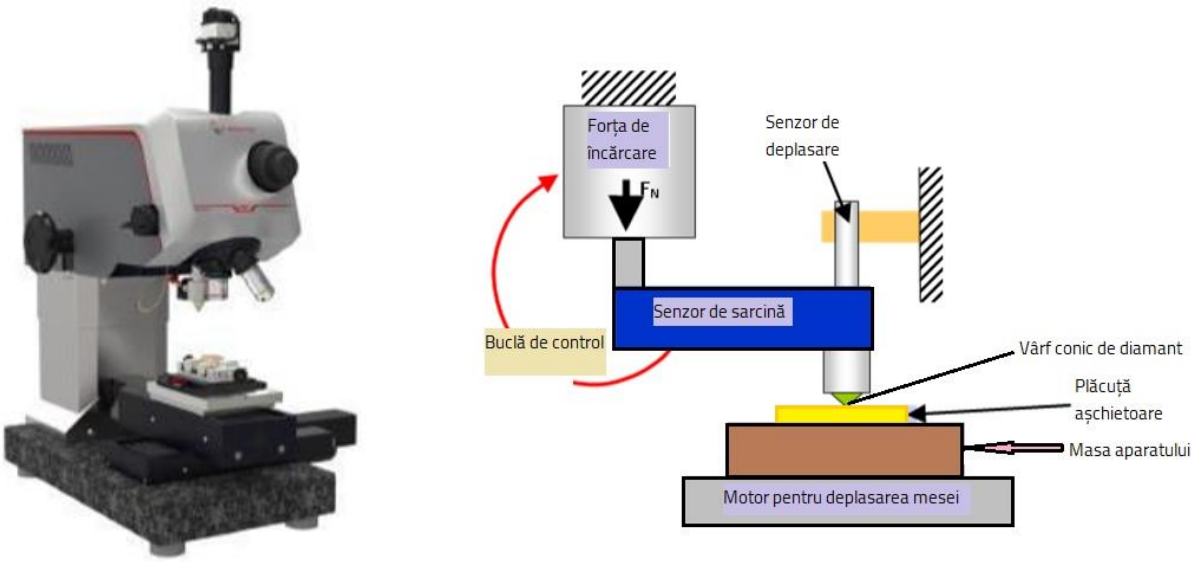


Fig. 5.14. *Schema aparatului de testare la aderență [ESC17]*

Tabelul 5.6. *Duritatea medie și aderența medie a straturilor de acoperire; valoarea medie a tensiunii curentului electric*

	Duritatea medie a straturilor de acoperire [unități Vickers]	**Aderența medie a straturilor de acoperire Lc1** [N]
Producător A	920,433	155,7
Producător B	2103,631	74,2
Producător C	1020,984	132,5

În tabelul 5.6 sunt centralizate media durităților celor 3 tipuri de plăcuțe și aderența stratului de așchiere.

Se constată faptul că stratul cu duritatea cea mai mare are aderența cea mai mică.

5.4.4. Realizarea experimentelor și prelucrarea datelor obținute pentru aprecierea calității loturilor de plăcuțe așchietoare

Pentru efectuarea experimentelor s-a utilizat standul prezentat în figura 5.2.

Rezultatele experimentelor pentru 18 tăișuri așchietoare din fiecare lot (producător A, B și C) sunt centralizate în tabelul 5.7. Valorile sunt grupate pe plăcuțe.

Tabel 5.7. *Valorile obținute ale tensiunii curentului electric la strunjirea oțelului C45 cu plăcuțe așchietoare de la producătorii A, B și C*

Nr. tăiș	Adâncime [mm]	Viteză [m/min]	Avans [mm/rot]	Tensiune "U_A" [mV]	Tensiune "U_B" [mV]	Tensiune "U_C" [mV]
1	1,5	107	0,208	3,9	3,2	12,6
2				4,8	3,5	10,3
3				4,3	3,1	9,7
4				4,1	3,1	11,7
5				4,3	3,1	11,6
6				5	3,6	11
7				4,1	3,2	10,1
8				4,2	3,3	12,3
9				4	3,2	11,1
10				4,2	3,2	12
11				4,2	3,3	12,9
12				4,7	3,6	12,3
13				4,2	3,3	7,5
14				4,6	3,2	11,4
15				5,6	3,3	12,1
16				4,5	3,2	10,1
17				6,1	3,1	12,6
18				4,9	3,3	8,7

S-a strunjit cu 9 plăcuțe așchietoare din fiecare lot iar pentru fiecare plăcuță s-au realizat experimente cu 2 tăișuri, câte unul pentru fiecare față a plăcuței și s-au vizualizat la microscop pentru a se alege tăișuri fără defecte.

Dacă se reprezintă grafic numărul de tăișuri la aceeași valoare a tensiunii curentului electric de așchiere, pentru fiecare lot în parte, se obțin graficele din figurile 5.15, 5.16 și 5.17.

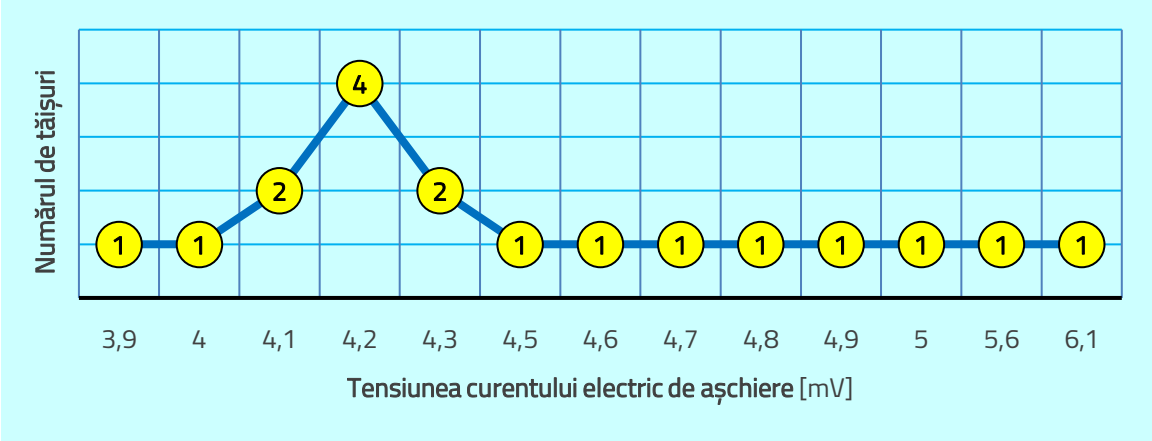


Fig. 5.15. *Numărul de tăișuri așchietoare de la producătorul A care au aceeasi valoare a tensiunii curentului electric de așchiere*

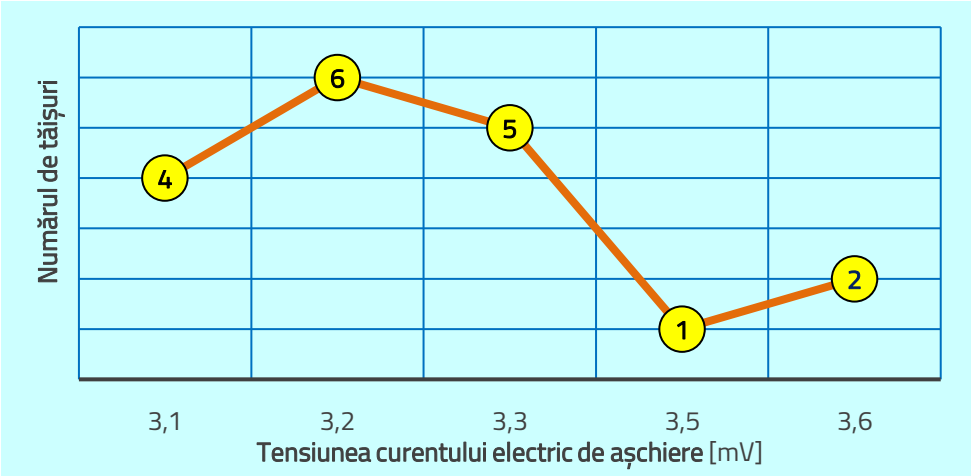


Fig. 5.16. *Numărul de tăișuri așchietoare de la producătorul B care au aceeasi valoare a tensiunii curentului electric de așchiere*

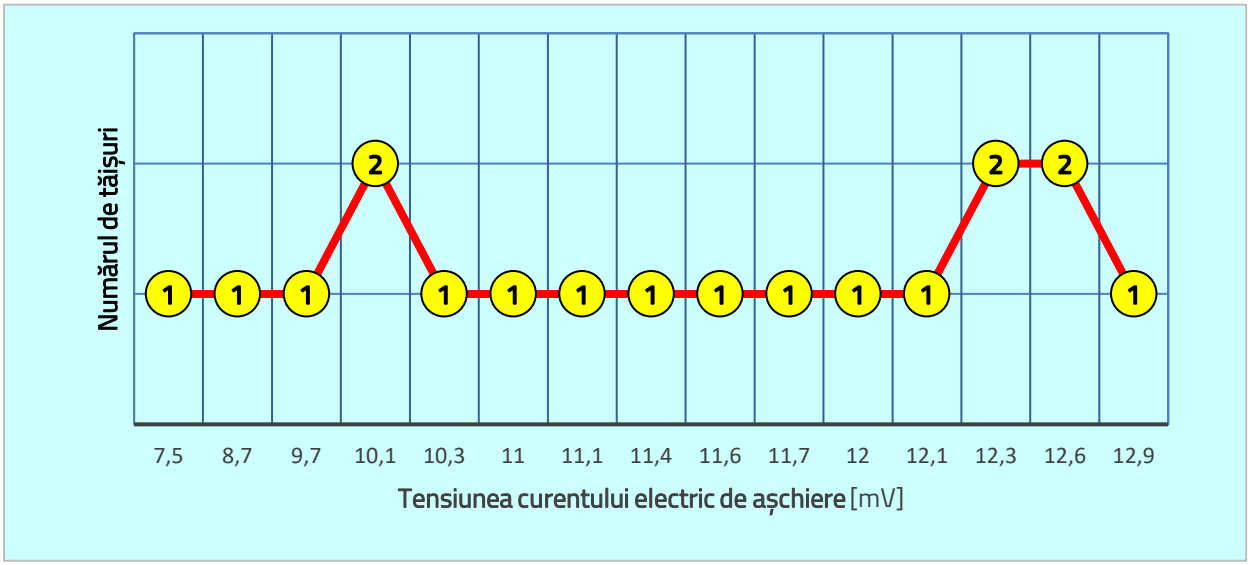


Fig. 5.17. *Numărul de tăișuri așchietoare de la producătorul C care au aceeasi valoare a tensiunii curentului electric de așchiere*

O altă modalitate de prelucrare a datelor experimentale este analiza mediei valorilor tensiunii curentului electric de așchiere pe plăcuță așchietoare. Tabelul 5.8, pe baza tabelului 5.7, centralizează pentru fiecare lot tensiunea medie pe plăcuțele așchietoare.

Tabel 5.8. *Valoril medii ale tensiunii curentului electric de așchiere, pe plăcuță, la strunjirea oțelului C45 cu plăcuțe așchietoare de la producătorii A, B și C; v = 107 m/min; s = 0,208 mm/rot; t = 1,5 mm*

Plăcuța	Nr. tăiș	Tensiune pe tăiș "U_A" [mV]	Tensiune pe plăcuță "U_A" [mV]	Tensiune pe tăiș "U_B" [mV]	Tensiune pe plăcuță "U_B" [mV]	Tensiune pe tăiș "U_C" [mV]	Tensiune pe plăcuță "U_C" [mV]
1	1	3,9	4,35	3,2	3,35	12,6	11,45
	2	4,8		3,5		10,3	
2	3	4,3	4,2	3,1	3,1	9,7	10,7
	4	4,1		3,1		11,7	
3	5	4,3	4,65	3,1	3,35	11,6	11,3
	6	5		3,6		11	
4	7	4,1	4,15	3,2	3,25	10,1	11,2
	8	4,2		3,3		12,3	
5	9	4	4,1	3,2	3,2	11,1	11,55
	10	4,2		3,2		12	
6	11	4,2	4,45	3,3	3,45	12,9	12,6
	12	4,7		3,6		12,3	
7	13	4,2	4,4	3,3	3,25	7,5	9,45
	14	4,6		3,2		11,4	
8	15	5,6	5,05	3,3	3,25	12,1	11,1
	16	4,5		3,2		10,1	
9	17	6,1	5,5	3,1	3,2	12,6	10,65
	18	4,9		3,3		8,7	

Reprezentarea grafică a datelor din tabelul 5.8 se poate vedea în figura 5.18, valorile din grafic fiind în ordinea crescătoare a tensiunilor medii pe plăcuțele așchietoare, pentru fiecare lot în parte. Relațiile curbelor de regresie din figura 5.18 au fost deduse cu ajutorul softului CurveExpert 1.4

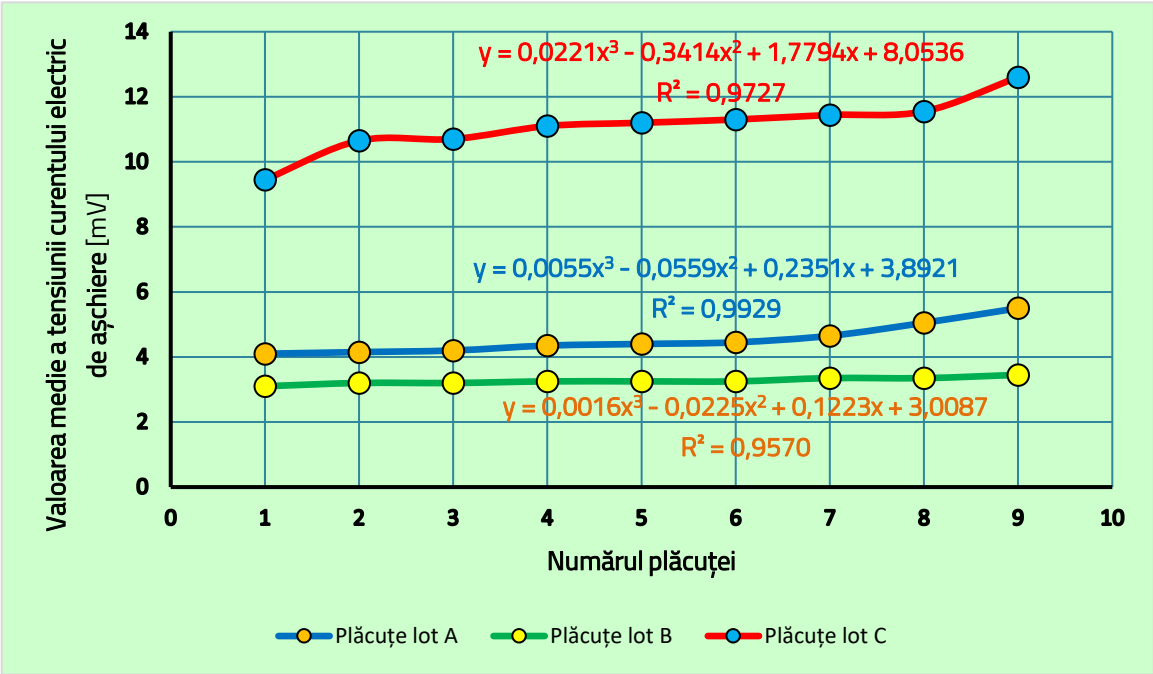


Fig. 5.18. *Graficul valorilor medii ale tensiunii curentului electric de așchiere pe plăcuță, în ordine crescătoare, pentru loturile A, B și C*

În tabelul 5.9 se poate vedea ecartul E (diferența de valoare a tensiunii dintre tăișuri la aceeași plăcuță) pentru tensiunea curentului electric de așchiere la fiecare plăcuță așchietoare și ponderea ecartului total pe lot (procentaj) din suma valorilor tensiunii curentului de așchiere, pe lot.

Tabelul 5.9. *Ecartul valorilor tensiunii pentru fiecare plăcuță din lot și abaterea sumei ecartului față de valoarea totală a tensiunii, pe lot*

Plăcuța	Nr. tăiș	Tensiune pe tăiș "U_A" [mV]	Ecart "E_A" [mV]	Tensiune pe tăiș "U_B" [mV]	Ecart "E_B" [mV]	Tensiune pe tăiș "U_C" [mV]	Ecart "E_C" [mV]
1	1	3,9	0,9	3,2	0,3	12,6	2,3
	2	4,8		3,5		10,3	
2	3	4,3	0,2	3,1	0	9,7	2
	4	4,1		3,1		11,7	
3	5	4,3	0,7	3,1	0,5	11,6	0,6
	6	5		3,6		11	
4	7	4,1	0,1	3,2	0,1	10,1	2,2
	8	4,2		3,3		12,3	
5	9	4	0,2	3,2	0	11,1	0,9
	10	4,2		3,2		12	
6	11	4,2	0,5	3,3	0,3	12,9	0,6
	12	4,7		3,6		12,3	
7	13	4,2	0,4	3,3	0,1	7,5	3,9
	14	4,6		3,2		11,4	

8	15	5,6	1,1	3,3	0,1	12,1	2,1
	16	4,5		3,2		10,1	
9	17	6,1	1,2	3,1	0,2	12,6	3,9
	18	4,9		3,3		8,7	
TOTAL		81,7	5,3	58,8	1,6	200	18,5
Procentaj ecart total față de suma totală		6,49%		2,74%		9,25%	

În timpul cercetărilor experimentale s-a observat și faptul că rugozitatea suprafeței obținute este diferită atunci când valorile tensiunii curentului electric sunt diferite la tăișurile din același lot. Cu cât tensiunea este mai mare, cu atât rugozitatea obținută este mai mare ceea ce denotă imperfecțiuni ale tăișului așchietor (fig. 5.19). Același lucru s-a identificat, atât în lucrarea [DAI16b] la burghiere, cât și în capitolul 4 al prezentei lucrări.

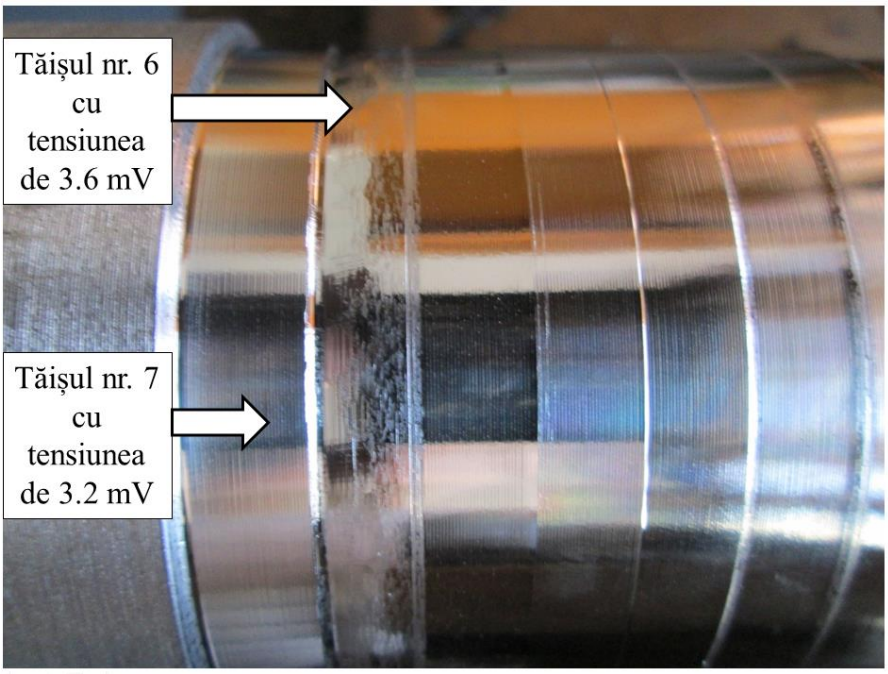


Fig. 5.19. *Rugozitatea suprafeței obținută cu tăișurile 6 și 7 de la producătorul B*

5.4.5. Aspecte economice privind loturile de plăcuțe așchietoare

Plăcuțele așchietoare din carbură metalică, titanizate, au fost achiziționate la următoarele prețuri: plăcuțele producătorului A cu 8,2 euro, cele de la producătorul B cu 10 euro iar cele de la producătorul C cu 8,5 euro.

A fost calculată valoarea medie a tensiunii curentului electric la așchiere obținut pentru tăișurile analizate din fiecare lot, iar rezultatele sunt: pentru producătorul A tensiunea medie este 4,54 mV, pentru producătorul B este 3,24 mV iar pentru producătorul C este de 11,11 mV. Folosind datele din sursa bibliografică [DIT08], prelucrate cu softul CurveExpert 1.4, se constată

că la același tip de plăcuță așchietoare, dacă tensiunea curentului electric de așchiere diferă cu 0,7 mV, durabilitatea diferă cu 20,42%, ceea ce înseamnă că la o diferență de 1mV, durabilitatea diferă cu 29,17%.

Luând ca bază de referință producătorul B și știind că diferența dintre tensiunile medii ale curentului electric de așchiere dintre plăcuțele de la producătorii A și B este de 1,3 mV, rezultă că durabilitatea plăcuței de la producătorul A față de producătorul B este cu 37,92% mai mică, iar pentru plăcuțele de la producătorul C ar fi cu 229,41% mai mică.

La prelucrarea aceleiași lungimi de așchiere se consumă cu 37,92% mai multe plăcuțe de tip A față de plăcuțele de tip B. Rezultă, că în realitate, costul pe o plăcuță a producătorului A față de producătorul B este de 8,2x1,3792 = 11,31 euro.

Se constată, că dacă se achiziționează plăcuțe de la producătorul B, chiar dacă sunt mai scumpe, datorită durabilității tăișului mai mare, în realitate se face o economie de 1,31 euro pe plăcuță (13,1%).

Comparația cu plăcuțele producătorului C nu poate fi realizată deoarece acestea au grosimea stratului de acoperire la mai puțin de jumătate față de plăcuțele de la producătorul A și B ceea ce a condus la valori mari ale tensiunii curentului electric de așchiere, comparativ cu o plăcuță neacoperită ([DIT08]).

5.5. Concluzii

În acest capitol s-a studiat aplicabilitatea practică a curentului electric de așchiere la strunjire, abordarea fiind una cu caracter inovativ întru-cât sunt puține aplicații practice ale curentului electric la strunjire, cu excepția aprecierii temperaturii în zona de așchiere utilizând termocuplul natural piesă – sculă așchietoare. Au fost realizate următoarele:

- Configurarea unui stand de măsurare a curentului electric de așchiere cu îmbunătățirea colectorului de curent și utilizarea unui multimetru cu posibilitatea achiziționării datelor măsurate și trimiterea acestora către calculator;
- Experimental, la strunjirea oțelului C45 cu plăcuță din carbură metalică de tip P acoperită cu titan, s-a determinat influența regimului de așchiere asupra tensiunii curentului electric de așchiere; s-a constatat o dependență liniară determinată după o analiză a datelor cu softul Design Expert; s-a realizat o analiză ANOVA și s-a optimizat regimul de așchierii în scopul minimizării tensiunii curentului electric de așchiere, fapt ce conduce la maximizarea durabilității tăișului așchietor;
- La optimizarea parametrilor regimului de așchiere având drept obiectiv minimizarea tensiunii curentului de așchiere trebuiesc introduse restricții, acestea fiind intervalul de valori recomandat de producătorul plăcuței așchietoare;

- Punctul forte al capitolului îl constituie elaborarea unei metode de apreciere a calității plăcuțelor așchietoare de același tip, acoperite cu titan, la trei loturi achiziționate de la 3 furnizori;
- Au fost realizate experimente și s-au prelucrat rezultatele centralizate tabelar, atât grafic cât și analitic (determinări de relații);
- Din analiza graficului 5.15 se pot evidenția următoarele:
  - Lotul A prezintă un interval de tensiune a curentului electric de așchiere de 3,9÷6,1 mV;
  - 12 tăișuri formează, simetric, curba lui Gauss cu tensiunea cuprinsă în intervalul 3,9÷4,6 cu maximul la 4,2 mV;
  - 6 plăcuțe așchietoare sunt înșiruite câte una în intervalul 4,7÷6,1 mV.
- Graficul din figura 5.25 (și tabelul 5.12) prezintă:
  - Lotul B are un interval al tensiunii curentului electric de 3,1÷3,6 mV;
  - 15 tăișuri formează, cu aproximație destul de bună curba lui Gauss cu tensiunea curentului electric de așchiere cuprinsă în intervalul 3,1÷3,3 mV;
  - 3 plăcuțe așchietoare sunt cuprinse cu tensiunea curentului electric de așchiere în intervalul 3,5÷3,6 mV.
- Graficul din figura 5.16 indică următoarele:
  - Lotul C are valorile tensiunii curentului electric de așchiere cuprinse în intervalul 7,5÷12,9 mV;
  - Valorile nu prezintă o singură distribuție, ci două;
  - Prima distribuție este cuprinsă în intervalul 7,5÷11,1 mV (8 valori) iar cealaltă în intervalul 12,1÷12,9 mV (6 valori);
  - 5 valori pentru tensiunea curentului electric de așchiere sunt înșiruite una câte una în intervalul 11,4÷12 mV.

Analiza comparativă a celor trei grafice (fig. 5.15, 5.16 și 5.17) arată că lotul B poate fi considerat ca având cea mai bună calitate, chiar dacă aderența stratului de acoperire este cea mai mică dintre cele 3 loturi de plăcuțe așchietoare, din următoarele considerente:

- Are cele mai mici valori ale tensiunii curentului electric de așchiere și intervalul cel mai strîns (3,5÷3,6 mV);
- Majoritatea valorilor (15) sunt grupate în intervalul 3,1÷3,3 mV cu o mărime de 0,2 mV, ceea ce arată o calitate constantă de la un tăiș la altul;
- Mărimea intervalului valorilor este foarte strânsă (0,5 mV) iar duritatea stratului de acoperire este cea mai mare dintre cele 3 loturi (2103,631 unități Vickers).

Pe locul al doilea este lotul A deoarece:

- Valorile tensiunii curentului electric sunt puțin mai mari față de cele ale lotului B, intervalul fiind 3,9÷6,1 mV;
- Majoritatea valorilor (12) sunt grupate în intervalul 3,9÷4,6 mV, cu o întindere de 0,7 mV;

- Intervalul total are o mărime de 2,1 mV, duritatea straturilor de acoperire este de 920,433 unități Vickers și straturile au cea mai bună aderență comparativ cu celelalte două loturi.

Pe locul al treilea se află lotul C fiindcă:

- Valorile tensiunii curentului electric de așchiere sunt 2÷3 ori mai mari comparativ cu primele două loturi;
- Chiar dacă aderența și duritatea stratului de acoperire este pe medie comparativ cu celelate două loturi, grosimea stratului de acoperire este foarte mică (aprox. 2 μm comparativ cu 4,5 și 4,9 μm ale celorlalte două loturi) ceea ce explică valoarea mare a tensiunii curentului electric de așchiere; valoarea este comparativă cu a unei plăcuțe neacoperite ceea ce înseamnă că stratul de acoperire nu își mai îndeplinește rolul);
- Intervalul valorilor tensiunii curentului electric de așchiere are o întindere mare (5,4 mV);
- Suplimentar, din analiza la microscop, s-a constatat că un tăiș prezenta defecțiune majoră (ciobitură);

Analizând costurile plăcuțelor așchietoare prin prizma durabilității tăișurilor s-a ajuns la concluzia că achiziționând plăcuțe de la producătorul B, chiar dacă sunt mai scumpe (10 euro pe plăcuță), în realitate se face o economie de 1,31 euro față de o plăcuță din lotul A (8,2 euro pe plăcuță); nu s-a realizat comparația și cu plăcuțe din lotul C deoarece acestea aveau stratul de acoperire la mai puțin de jumătate față de plăcuțele așchietoare din loturile A și B și s-a constatat valori mari ale tensiunii curentului electric de așchiere.

Capitolul 6.
CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII PERSONALE, DISEMINARE ŞI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

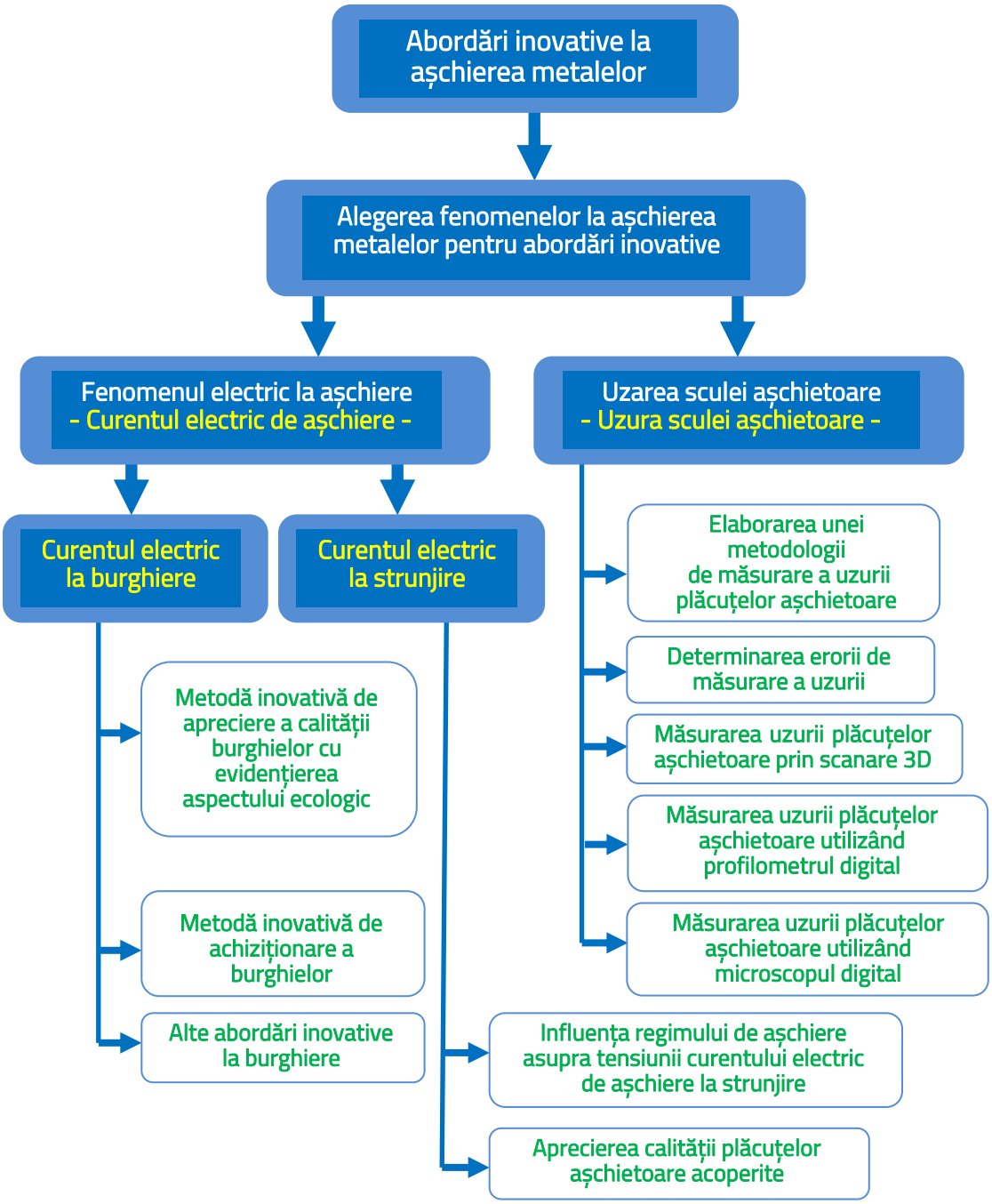


Fig. 6.1. *Organigrama capitolului 6 (recapitulativă)*

Organigrama capitolului 6, recapitulativă, ilustrează în mod sugestiv tratarea tuturor obiectiveleor stabilite în capitolul al 2-lea.

6.1. Concluzii finale

1. Implementarea Sistemului de Management al Calității este o necesitate pentru a realiza produse și servicii de calitate și de aceeași calitate. Îmbunătățirea continuă constituie o procedură obligatorie în Sistemul de Management al Calității. Aceasta nu se poate realiza fără inovație și, în consecință, este nevoie de implementarea unor tehnici și tehnologii inovative. Evident, nu face excepție nici așchierea metalelor care la acest moment este mijlocul cel mai răspândit de a realiza piese din meta, iar în viitor va fi folosit în cadrul sistemelor hibride de fabricație.
2. **Orice abordare inovativă din tehnică sau tehnologie presupune următoarele:**

- **aduce o noutate în raport cu o tehnică sau tehnologie utilizată în mod curent;**
- **îmbunătățește calitativ un produs sau o piesă;**
- **simplifică tehnologiile de fabricație și de control;**
- **scurtează ciclul de fabricație;**
- **crește productivitatea muncii;**
- **îmbunătățește condițiile de muncă.**

3. Cercetările în domeniul așchierii metalelor sunt în continuă dezvoltare iar analiza fenomenelor care au loc în timpul desfășurării așchierii a condus la identificarea a două direcții de abordare unde există potențial în direcția implementării unor tehnici și tehnologii inovative. **Primul fenomen abordat** în cadrul tezei a fost uzarea sculei așchietoare deoarece consecința, uzura, reprezintă cel mai important aspect la o sculă așchietoare și, totodată, singurul element care se regăsește atât la ieșirea, cât și la intrarea în sistemul **proces de așchiere. Al doilea fenomen abordat** a fost fenomenul electric de așchiere care, deși se cunoaște de mult timp, a pătruns prea puțin în practica prelucrării metalelor prin așchiere.
4. **În cazul uzurii sculei așchietoare** standardul internațional ISO 3685/1993 (revizuit în 2017) reglementează notațiile și caracteristicile uzurii cuțitului de strung dar nu este reglementată metodologia de măsurare. Nici literatura de specialitate nu oferă informații privind metodologia de măsurare, aceasta fiind lăsată în seama cercetătorilor. Existând metodologii diferite compararea rezultatelor dintre diverse cercetări nu este realizată cu acuratețe. În acest sens **se propune o metodologie unitară de măsurare a uzurii pe flanc la cuțitului de strung**. A fost optimizat incrementul măsurătorilor și s-au identificat erorile de măsurare ale operatorului uman.
    - Alinierea reticolului orizontal al microscopului 2D optico-digital cu tăișul așchietor. Eroarea maximă în acest caz poate fi 0,005 mm ceea ce este cu totul acceptabil; numai grosimea reticolului microscopului este de 0,001 mm;

- Poziționarea reticolului vertical al microscopului 2D digital, la începutul uzurii pe flanc, în partea opusă vârfului plăcuței așchietoare. În această situație eroarea maximă poate fi 0,006 mm;

5. Aprecierea de către operator a trecerii de la uzură la suprafața de așezare neuzată. Eroarea la uzura medie în acest caz este de 0,0096 mm între operatori și de 0,0039 la repetarea de 5 ori a măsurătorilor de către același operator. Dacă se continuă repetările (maxim 12) intervine oboseala operatorului și eroarea la uzura medie crește la 0,0106 mm. Optimizarea valorii pasului măsurătorilor la determinarea uzurii medii a flancului tăișului așchietor a condus la concluzia că pentru aplicarea metodologiei este indicat a se măsura uzura cu un pas incremental de 0,1 mm.
6. Metodologia propusă pentru măsurarea uzurii pe flanc este următoarea:
   - Etapa 1. Identificarea începutului uzurii pe tăișul rectiliniu pentru măsurarea cotei "M" (fig. 3.6) în vederea determinării lungimii tăișului rectiliniu uzat; calculul numărului punctelor de măsurare prin împărțire lungimii rectilinii a tăișului uzat la pasul (incrementul) de 0,1 mm iar la partea întreagă a împărțirii se mai adaugă cifra 1; pentru a evita uzura pe colț măsurarea va începe de la sfârșitul uzurii pe tăișul sculei, către raza la vîrful sculei; în acest mod se micșorează eroarea de poziționare a originii măsurătorilor de către doi operatori independenți; dacă s-ar începe de la vârful sculei, pentru evitarea razei la vârf, nu s-ar reuși identificarea punctului de inflexiune dintre rază și porțiunea rectilinie a tăișului;
   - Etapa 2. Determinarea dreptei de referință a măsurătorilor (fig. 3.2), prin poziționarea acesteia în lungul tăișului neuzat;
   - Etapa 3. Împărțirea suprafeței uzate (pe tăișul rectiliniu uzat) în secțiuni paralele distanțate la 0,1 mm și totodată perpendiculare pe dreapta de referință; această împărțire se face cu scopul obținerii unui număr suficient de puncte pentru o evaluare precisă a uzurii medii; prima măsurătoare nu trebuie să aibă valoarea zero (fig. 3.8);
   - Etapa 4. Măsurarea înălțimii uzurii în fiecare secțiune; se va identifica uzura maximă, (înălțimea maxima obținută), VB_{MAX} ;
   - Etapa 5. Se calculează valoarea uzurii medii "VB_B" ca fiind media valorilor măsurate, luând în considerare inclusiv valoarea maximă.
7. Existența la nivel mondial de noi mijloace de control și cunoscând erorile ce pot interveni la măsurarea uzurii pe flanc la plăcuțele așchietoare utilizate la strunjire s-au efectuat, pentru început, măsurători ale uzurii, pentru un tăiș, cu patru sisteme de măsurare, și anume, cu scanerul 3D, profilometrul digital 2D, microscopul optico-digital 2D și microscopul scaner 3D digital. Măsurătorile au avut drept scop stabilirea împrăștierii valorilor obținute și a se evidenția concluzii referitoare la utilizarea de mijloace alternative la măsurarea uzurii, altele decât microscopul optico-digital 2D.
8. **Concluzia finală referitoare la măsurarea uzurii maxime și la determinarea uzurii medii este că se poate utiliza, cu foarte bună precizie, oricare din sistemele de**

măsurare folosite respectând metodologiile de măsurare prezentate în subcapitolele 3.3 și 3.4.

9. **Fenomenul electric** se manifestă la așchierea materialelor metalice cu tăișuri metalice, iar din analiza fenomenelor ce au loc la așchierea metalelor, deși studiat de cercetători, are puține aplicații în practica, industrială cu excepția aprecierii temperaturii din zona de așchiere. Identificarea de noi aplicații ce pot fi implementate rapid în practică capătă caracter inovativ, în principal, datorită numărului mic de aplicații.
10. Având la bază cercetări anterioare care au demonstrat legătura directă dintre temperatura din zona de așchiere și durabilitatea tăișului așchietor iar curentul electric de așchiere este rezultatul diferenței de temperatură dintre zona de așchiere și capătul rece al sculei așchietoare, s-au ales două procedee, burghierea și strunjirea, procedee ce au o pondere mare în prelucrările prin așchiere.
11. **La burghiere s-au realizat următoarele aplicații:**
    - **Aprecierea calității unui lot de burghie;**
    - **Compararea a două loturi de burghie prin prizma analizei calității de la aplicația anterioară cu implicații economice;**
    - **Aprecierea eficienței intrării line în așchiere a burghiului datorită faptul că intarea lină a burghiului în așchiere contribuie la mărirea durabilității acestuia.**
12. **La strunjire s-au elaborat aplicațiile:**
    - **Optimizarea regimului de așchiere utilizând valorile tensiunii curentului de așchiere determinate experimental;**
    - **Aprecierea calității a trei loturi de plăcuțe așchietoare titanizate utilizate la cuțitele cu plăcuțe fixate mecanic.**
13. **Analiza economică** la achiziționarea a două loturi de burghie permite evidențierea următoarelor aspecte:
    - Dacă un burghiu este folosit doar ocazional atunci este bine să se achiziționeze burghie de la firma de la care s-a achiziționat lotul I deoarece costul pe mm adâncime așchiată este mai mic comparativ cu lotul al II-lea;
    - Dacă s-ar fi achiziționat lotul I la prețul de 66,3 lei și presupunând că durabilitatea lotului este similară lotului achiziționat, atunci este bine să se achiziționeze burghie similare celor din lotul al II-lea deoarece, chiar dacă lotul este mai scump, costul pe mm adâncime de prelucrat este mai mic;
    - Dacă se presupune că este egalitate de costuri și luând ca referință costul lotului al II-lea se poate determina costul primului lot, $C_{lot\ I}$, cu relația $C_{lot\ I} = C_{lot\ II} \times T_{lot\ I}/T_{lot\ II}$ unde T sunt durabilitățile; în cazul datelor experimentale realizate $C_{lot\ I} = 65{,}17$ lei;
    - Dacă lotul I se poate achiziționa la un preț mai mic decât 65,17 lei este economic să se achiziționeze lotul I; dacă lotul I se poate achiziționa la un preț mai mare (cel mult egal) decât 65,17 lei atunci economic este să achiziționăm lotul al II-lea.

14. Utilizarea curentului electric de așchiere la aprecierea calității unui burghiu are și o **componentă ecologică;** în cazul celor două loturi s-a determinat cantitatea de așchii ce rezultă în urma experimentărilor, atât în variantă clasică (încercări la durabilitate pentru fiecare burghiu), cât și în varianta măsurării doar a tensiunii curentului electric de așchiere; s-a constatat că în varianta a doua (doar măsurarea tensiunii curentului electric de așchiere) cantitatea de așchii rezultată este doar 5,84% din cantitatea de așchii ce ar rezulta din determinări clasice.
15. **Intrarea lină în așchiere a burghiului** reprezintă un mijloc de creștere a durabilității acestuia; aprecierea eficienței intrării line în așchiere, conform celor identificate, s-a realizat folosind încercări la durabilitate în mod clasic, cu consum de timp și de material mare.
16. Curentul electric de așchiere poate fi utilizat și la **aprecierea eficienței intrării line în așchiere a burghiului**, reducând considerabil atât consum de material, cât și timp necesar desfășurării experimentărilor.
17. **Experimentele au arătat că introducerea lină în așchiere a burghiului conduce la o creștere a durabilității de 24,92%.**
18. La efectuarea experimentărilor s-a folosit dispozitivul de intrare lină în așchiere existent în dotarea laboratorului de Bazele așchierii al departamentului Ingineria fabricației din cadrul facultății de Inginerie Tehnologică și Management Industrial de la Universitatea Transilvania, Brașov; prin calcule s-a determinat cu exactitatea gama de utilizare, burghie cu diametre de 5÷8 mm; pentru îmbunătățirea dispozitivului a fost necesară dezasamblarea și studierea posibilităților de lărgire a gamei de utilizare.
19. **La reingineria dispozitivului de intrare lină în așchiere** s-a introdus un al doilea arc în interiorul celui existent și în acest mod s-a mărit gama de utilizare a dispozitivului în intervalul de diametre ale burghielor 2÷10 mm; pentru intervalul 2÷4 mm se utilizează arcul cu diametrul exterior mai mic, pentru gama 5÷8 mm se utilizează arcul cu diametrul exterior mai mare iar pentru gama 9÷10 mm se introduce arcul mai mic în interiorul arcului mai mare și vor lucra împreună.
20. **La strunjire, pentru optimizarea regimului de așchiere,** se propune utilizarea mărimii tensiunii curentului electric de așchiere; s-a realizat îmbunătățirea standului de măsurare existent în laboratorul de Bazele Așchierii prin construirea unui colector de curent electric îmbunătățit față de cel existent și utilizarea unui multimetru cu placă de achiziție date și transmiterea acestora către calculator.
21. La strunjirea oțelului C45 cu plăcuță din carbură metalică de tip P acoperită cu nitrură de titan, s-a determinat influența regimului de așchiere asupra tensiunii curentului electric de așchiere; s-a determinat o dependență liniară după o analiză a datelor cu softul Design Expert; s-a realizat o analiză ANOVA și s-a optimizat regimul de așchierii în scopul minimizării tensiunii curentului electric de așchiere, fapt ce conduce la maximizarea durabilității tăișului așchietor;

22. O altă aplicație a curentului electric de așchiere la strunjire este utilizarea acestuia la **aprecierea calității a trei loturi de plăcuțe așchietoare acoperite**; a fost necesar determinarea grosimii straturilor de acoperire, a durității ultimului strat și a aderenței stratului de acoperire, fapt realizat prin amabilitatea firmei Anton Paar TriTec SA, Rue de la Gare 4 (Galileo Center) 2034 Peseux, Elveția (Switzerland), firmă specializată în aparatură destinată acestui scop.
23. Au fost elaborate și aplicate două metodologii, una pentru aprecierea analiza calității a trei loturi de plăcuțe așchietoare și cealaltă pentru analiza economico-calitativă a loturilor.
24. Analizând costurile plăcuțelor așchietoare prin prizma durabilității tăișurilor s-a ajuns la concluzia că achiziționând plăcuțe de la producătorul B, chiar dacă sunt mai scumpe (10 euro pe plăcuță), în realitate se face o economie de 1,31 euro față de o plăcuță din lotul A (8,2 euro pe plăcuță); nu s-a realizat comparația și cu plăcuțe din lotul C deoarece acestea aveau stratul de acoperire la mai puțin de jumătate față de plăcuțele așchietoare din loturile A și B și s-a constatat existența unor valori mari ale tensiunii curentului electric de așchiere.

6.2. Contribuții personale

Ca urmare a cercetărilor prezentate în teza de doctorat se poate aprecia, în mod sintetic, că principalele contribuții personale sunt următoarele:

1. Identificarea necesității abordărilor inovative la așchierea metalelor prin realizarea unei sinteze a fenomenelor ce au loc în procesul de așchiere (subcapitolele 1.1÷1.4);
2. Elaborarea unei metodologii de măsurare a uzurii plăcuțelor așchietoare în cadrul căreia s-au identificat și analizat erorile umane de măsurare (subcapitolele 3.1 și 3.2);
3. Analiza comparativă a datelor la măsurarea uzurii plăcuțelor așchietoare cu 4 sisteme de măsurare: scanerul 3D, profilometrul digital 2D, microscopul 2D optico-digital și microscopul scaner 3D digital (subcapitolele 3.3÷3.7);
4. Metodologia aprecierii calității unui lot de burghie și metodologia de achiziționare economică a burghielor utilizând curentul electric de așchiere (subcapitolele 4.2, 4.3.2, 4.3.6);
5. Estimarea durabilității unui lot de burghie prin determinarea și utilizarea unor modele matematice liniare și polinomiale de gradul 2 (subcapitolele 4.3.3, 4.3.5);
6. Validarea estimării durabilității burghielor utilizând curentul electric de așchiere (subcapitolul 4.3.4);
7. Abordarea ecologică la aprecierea calității unui lot de burghie (subcapitolul 4.4);
8. Aprecierea eficienței intrării line în așchiere a burghiului utilizând curentul electric de așchiere (subcapitolul 4.5);
9. Reingineria dispozitivului de intrare lină în așchiere a burghiului prin lărgirea gamei de utilizare (subcapitolul 4.6);

10. Determinarea relației de legătură dintre diametrul burghiului și coeficientul de corecție pentru grosimea relativă a miezului burghiului (subcapitolele 4.6.1 și 4.6.2);
11. Îmbunătățirea colectorului de curent electric de așchiere la strunjire (subcapitolul 5.2);
12. Influența regimului de așchiere asupra tensiunii curentului electric de așchiere la strunjirea cu plăcuțe așchietoare acoperite (subcapitolele 5.3.1, 5.3.2);
13. Optimizarea regimului de așchiere folosind tensiunea curentului electric de așchiere la strunjire (subcapitolul 5.3.3);
14. Elaborarea unei metodologii de analiză și comparare a calității diverselor loturi de plăcuțe așchietoare (subcapitolele 5.4.1÷5.4.4);
15. Analiza economică a loturilor de plăcuțe așchietoare (subcapitolul 5.4.5);

6.3. Diseminarea rezultatelor obținute

Rezultatele cercetărilor efectuate în cadrul studiilor doctorale și prezentate în teza de doctorat au fost valorificate până în prezent prin publicarea următoarelor lucrări științifice:

1. **Daicu, R**., *Innovative Technique used to analyze the expansion of a machine building enterprise*, Review of Management & Economic Engineering, Vol. 14, 2015, p. 183-192, Cluj-Napoca;

2. **Daicu, R**., Oancea, Gh., *Electrical Current at Metal Cutting Process: A Literature Review*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 808, 2015, p. 40-47, nov. 2015, ISSN 1662-7482, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.808.40;

3. **Daicu, R**., Dițu, V., *Innovative Method to Reveal the Roughness of Land Surfaces at Sharpening Twist Drills*, Recent, Vol. 17 (2016), No. 4 (50), November 2016;

4. **Daicu, R**., Dițu, V., *Innovative analysis of HS 6-5-2 drills edges quality*, MATEC Web Conf. Vol. 94 (2017) 02004, CoSME'16, 3-4 nov., 2016, Braşov, **(indexată ISI WoS-CPCI);**

5. Dițu, V., Oancea, Gh., **Daicu, R**., *Researches on evaluation of smooth entrance in cutting using electrical current. A case study*, MATEC Web Conf. Vol. 94 (2017) 02005, CoSME'16, 3-4 nov., 2016, Braşov **(indexată ISI WoS-CPCI)**;

6. **Daicu, R**., Dițu, V., Oancea, Gh., *Innovative approach of drills acquisition using electrical current. A case study*, MATEC Web Conf. Vol. 112, (2017) 01023, IManEE 2017, 24-27 mai, Iaşi;

7. **Daicu, R**.,Dițu, V., Oancea, Gh., *A case study about acquisition of mechanically fixed cutting inserts*, MATEC Web Conf. Vol. 137, (2017) 03004, MTeM 2017, 12-13 oct, Cluj-Napoca **(indexată ISI WoS-CPCI)**;

8. **Daicu, R**.,Dițu, V., Oancea, Gh., *Ecological approach for assessing drill quality. A case study.* 3rd China-Romania Science and Technology Seminar (CRSTS 2018). IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 399 (2018) 012011 doi:10.1088/1757-899X/399/1/012011 **(indexată ISI WoS-CPCI)**.

9. **Daicu, R**., Dițu, V., *Particularities Regarding the Wear of SPMR150612-P30 Metallic Carbide Inserts*. Recent, Vol. 20 (2019), No. 3 (59), https://doi.org/10.31926/RECENT.2019.59.123.

10. **Daicu, R**., Dițu, V., The optimization of cutting parameters at turning, using electrical current at cutting, in order to increase the durability of the cutting tool. CoSME'20, 7-10 oct., 2020,

Braşov. IOP Publishing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1009 (2021) 012016; doi:10.1088/1757-899X/1009/1/012016
11. **Daicu, R**., Dițu, V., The determination of the relation between the drill diameter and the correction coefficient of the relative thickness of the drill core when calculating the axial force. CoSME'20, 7-10 oct., 2020, Braşov. IOP Publishing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1009 (2021) 012017 doi:10.1088/1757-899X/1009/1/012017
12. **Daicu, R**., Dițu, V., Peculiarities regarding the smooth entrance of the drill in cutting when processing steel, Recent, Vol. 21 (2020), No. 2 (61), https://doi.org/10.31926/RECENT.2020.61.083.
Articolele 5, 6, 7 și 10 au primit diploma de cele mai bune lucrări științifice la secțiunea la care s-au susținut.

6.4. Direcții viitoare de cercetare

Direcțiile viitoare de cercetare rezultă atât din stadiul actual al cercetărilor în domeniul tezei cât și din concluziile rezultate ca urmare a cercetărilor desfășurate. Acestea se canalizează în special prin utilizarea curentului electric de așchiere la alte procedee de prelucrare, fapt semnalat și de literatura de specialitate. Se pot enumera câteva posibile direcții de cercetare:

- Realizarea și testarea unui soft specializat care să estimeze durabilitatea plăcuțelor așchietoare din carbură metalică;
- Realizarea și testarea unui soft specializat care să estimeze durabilitatea burghielor;
- Configurarea unui echipament de testare cu implementarea softurilor proiectate și validarea acestuia;
- Utilizarea curentului electric de așchiere la diagnoza sculelor pentru frezare;
- Folosirea curentului electric de așchiere la achiziționarea sculelor pentru frezare;
- Testarea adâncitoarelor și alezoarelor folosind curentul electric de așchiere;
- Estimarea rapidă a forțelor de așchiere la strunjire utilizând curentul electric de așchiere (literatura de specialitate semnalează această posibilitate);
- Estimarea rapidă a forței axiale și a momentului de torsiune la burghiere utilizând curentul electric de așchiere;
- Dezvoltarea cercetărilor privind aprecierea și compararea utilizării lichidelor la diverse procedee de prelucrare prin așchiere folosind curentul electric de așchiere.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

[ABU03] Abu-Zahra N.H., Yu G., *Gradual wear monitoring of turning inserts using wavelet analysis of ultrasound waves.* International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 43, no. 4, p. 337-343, doi: 10.1016/S0890-6955(02)00274-2, 2003

[AGH15] Aghdam B. H., Vahdati M., Sadeghi M. H., *Vibration-based estimation of tool major flank wear in a turning process using ARMA models*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 76, p. 1631–1642, doi: 10.1007/s00170-014-6296-3, 2015

[ALO08] Alonso F. J., Salgado D. R., *Analysis of the structure of vibration signals for tool wear detection*. Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 22, p. 735–748, doi: 10.1016/j.ymssp.2007.09.012, 2008

[ATT10] Attanasio A., Ceretti E., Fiorentino A., Cappellini C., Giardini C., *Investigation and FEM-based simulation of tool wear in turning operations with uncoated carbide tools*. Wear, vol. 269, p. 344–350, doi: 10.1016/j.wear.2010.04.013, 2010

[BAG 73] Bagchi, H., Basu, S.K., *Thermoelectric Wear in Tools*. Wear 26, p. 39-44, 1973

[BAG15] Bagavathiappan S., Lahiri B. B., Suresh S., Philip J., Jayakumar T., *Online monitoring of cutting tool temperature during micro-end milling using infrared thermography, Insight*. Non-Destructive Testing and Condition Monitoring ,vol. 57, no. 1, p. 9-17, doi: 10.1784/insi.2014.57.1.9, 2015

[BAL16] Balsamo V., Caggiano A., Jemielniak K., Kossakowska J., Nejman M., Teti R., *Multi sensor signal processing for catastrophic tool failure detection in turning*. Procedia CIRP, vol. 41, p. 939 – 944, doi: 10.1016/j.procir.2016.01.010, 2016

[BAS07] Basti, A., Obikawaa A. T., Shinozuka J., *Tools with built-in thin film thermocouple sensors for monitoring cutting temperature*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 47, p. 793–798, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2006.09.007, 2007

[BHA08] Bhattacharyya P., Sengupta D., Mukhopadhyay S., Chattopadhyay A. B., *On-line tool condition monitoring in face milling using current and power signals*. International Journal of Production Research, vol. 46, no. 4, p. 1187 – 1201, doi: 10.1080/00207540600940288, 2008

[BHA09] Bhattacharyya P., Sengupta D., *Estimation of tool wear based on adaptive sensor fusion of force and power in face milling*. International Journal of Production Research, vol. 47, no. 3, p. 817 – 833, doi: 10.1080/00207540701403376, 2009

[BHU16] Bhuiyan M. S. H., Choudhury I. A., Dahari M., Nukman Y., Dawal S. Z., *Application of acoustic emission sensor to investigate the frequency of tool wear and plastic deformation in tool condition monitoring*. Measurement, vol. 92, p. 208–217, doi: 10.1016/j.measurement.2016.06.006, 2016

[BIN15] Binder M., Klocke F., Lung D., *Tool wear simulation of complex shaped coated cutting tools*. Wear, vol. 330-331, p. 600–607, doi: 10.1016/j.wear.2015.01.015, 2015

[BOE02] Boehler, W., Marbs, A., *3D scanning instruments*. In: Proceedings of the International workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, Corfu, Greece, Sept. 1–2, p. 9–12, 2002

[BUS14] Bushlya V. M., Gutnichenko O. A., Zhou J. M., Stahl J. E., Gunnarsson S., *Tool Wear and Tool Life of PCBN, binderless cBN and wBN-cBN Tools in Continuous Finish Hard Turning of Cold Work Tool Steel*. Journal of Superhard Materials, vol. 36, no. 1, p. 49–60, doi: 10.3103/S1063457614010080, 2014

[CAB17] Cabibbo, M., Forcellese, A., Rafelli, R., Simoncini, M., *Reverse engineering and scanning electron microscopy applied to the characterization of tool wear in dry milling processes.* Procedia CIRP, vol. 62, p. 233 – 238, doi: 10.1016/j.procir.2016.06.087, 2017

[CER15] Cerce L., Pusavec F., Kopac J., *3D cutting tool-wear monitoring in the process*. Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 29, no. 9, p. 3885-3895, doi: 10.1007/s12206-015-0834-2, 2015

[CHI16] Chinchanikar S., Choudhury S. K., *Cutting force modeling considering tool wear effect during turning of hardened AISI 4340 alloy steel using multi-layer TiCN/Al2O3/TiN-coated carbide tools*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 83, p. 1749–1762, doi: 10.1007/s00170-015-7662-5, 2016

[DAD17] D'Addona D.M., Sharif Ullah A.M.M, Matarazzo D., *Tool-wear prediction and pattern-recognition using artificial neural network and DNA-based computing*. Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 28, p. 1285–1301, doi: 10.1007/s10845-015-1155-0, 2017

[DAI15a] Daicu, R., ***Innovative Technique used to analyse the expansion of a machine building enterprise*.** Review of Management & Economic Engineering, Vol 14, Issue 1, p. 183-192, 2015

[DAI15b] Daicu R., Oancea Gh., ***Electrical Current at Metal Cutting Process: A Literature Review***. Applied Mechanics and Materials, vol. 808, p. 40-47, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.808.40, (2015)

[DAI16a] Daicu R., Dițu V., ***Innovative Method to Reveal the Roughness of Land Surfaces at Sharpening Twist Drills***. Recent, Vol. 17 (2016), No. 4 (50), 2016.

[DAI16b] Daicu R., Dițu V., ***Innovative analysis of HS 6-5-2 drills edges quality***. MATEC Web Conf. Vol. 94 (2017) 02004, CoSME'16, 3-4 nov., 2016, Braşov, **(indexată ISI WoS-CPCI).**

[DAI17a] Daicu, R., Dițu, V., Oancea, Gh., ***Innovative approach of drills acquisition using electrical current. A case study.*** MATEC Web Conf. Vol. 112, (2017) 01023, IManEE 2017, 24-27 mai, Iaşi.

[DAI17b] Daicu, R., Dițu, V., Oancea, Gh., ***A case study about acquisition of mechanically fixed cutting, inserts***. MATEC Web Conf. Vol. 137, (2017) 03004, MTeM 2017, 12-13 oct, Cluj-Napoca, **(indexată ISI WoS-CPCI).**

[DAI18] Daicu, R., Dițu, V., Oancea, Gh., ***Ecological approach for assessing drill quality. A case study*.** 3rd China-Romania Science and Technology Seminar (CRSTS 2018). IOP Publishing.

IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 399 (2018) 012011 doi:10.1088/1757-899X/399/1/012011, **(indexată ISI WoS-CPCI)**

[DAI19] Daicu, R., Dițu, V., ***Particularities Regarding the Wear of SPMR150612-P30 Metallic Carbide Inserts***. Recent, Vol. 20 (2019), No. 3 (59), https://doi.org/10.31926/RECENT.2019.59.123

[DAI20a] Daicu R., Dițu V., ***The optimization of cutting parameters at turning, using electrical current at cutting, in order to increase the durability of the tool***. Acceptată pentru susținere și publicare, CoSME'20, 7-10 nov., 2020, Braşov. IOP Publishing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1009 (2021) 012016; doi:10.1088/1757-899X/1009/1/012016.

[DAI20b] Daicu R., Dițu V., ***The determination of the relation between the drill diameter and the correction coefficient of the relative thickness of the drill core when calculating the axial force***. Acceptată pentru susținere și publicare, CoSME'20, 7-10 nov., 2020, Braşov. IOP Publishing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1009 (2021) 012017 doi:10.1088/1757-899X/1009/1/012017.

[DAI20c] Daicu, R., Dițu, V., ***Peculiarities regarding the smooth entrance of the drill in cutting when processing steel***, Recent, Vol. 21 (2020), No. 2 (61), https://doi.org/10.31926/RECENT.2020.61.083.

[DIN09] Dinakaran D., Sampathkumar S., Sivashanmugam N., *An experimental investigation on monitoring of crater wear in turning using ultrasonic technique*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 49, p. 1234–1237, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2009.08.001, 2009

[DIT99] Dițu, V., *The Relations between Thermocurrent that Result in the Cutting Process and the Diverse Parametres of the Systems "Cutting Process".* Buletinul "Romanian Academy", Branch Office of Iaşi, TSTM-no.5, 1999, p. 28-31

[DIT08] Dițu, V., *Bazele așchierii metalelor. Teorie și aplicații*. Editura MatrixRom, București, 2008

[DIT09] Dițu, V., *The Analysis of the Connection Relation between the Cutting Thermocurrent and the Cutting Tool's Wear*. Proc. of the 1st WSEAS International Conference on Manufacturing Engineering, Quality and Production Systems (MEQAPS '09), Volume II, p. 322-326, 2009

[DIT11] Dițu, V., *Comparative Study of the Using Cutting Fluids at Turning and Drilling Using the Cutting Electric Thermocurrent*. RECENT, vol. 12, Nr. 2 (32), 2011, p. 119-124

[DIT13] Dițu, V., Lepădătescu, B., *The Utilization of Electrical Cutting Signal for the Quality Control of the Mettalic Carbide Plates, of the Edge of the Drill, and for the Appreciation in the Cutting Zone*. Proceedings of the 12th WSEAS International Conference Circuits, Systems, Electronics, Control & Signal Processing (CSECS '13), Budapest, Hungary, 2013, p. 282-286.

[DIT16] Dițu, V., Oancea, Gh., **Daicu, R.**, ***Researches on evaluation of smooth entrance in cutting using electrical current. A case study.*** MATEC Web Conf. Vol. 94 (2017) 02005, CoSME'16, 3-4 nov., 2016, Braşov **(indexată ISI WoS-CPCI).**

[DUB17a] Dubuisson, M., *Referat măsurători pentru grosimea straturilor de acoperire la plăcuțe așchietoare.* Firma Antoon Paar, Austria, locația Switzerland, 10.03.2017 (Anexa 6)

[DUB17b] Dubuisson, M., *Referat măsurători pentru durităților straturilor de acoperire la plăcuțe așchietoare*. Firma Antoon Paar, Austria, locația Switzerland, 10.03.2017 (Anexa 7)

[DUT12] Dutta S., *Datta A., Das Chakladar N., Pal S. K., Mukhopadhyay S., Sen R., Detection of tool condition from the turned surface images using an accurate grey level co-occurrence technique*. Precision Engineering, vol. 36, p. 458–466, doi: 10.1016/j.precisioneng.2012.02.004, 2012

[DUT16a] Dutta S., Pal S. K., Sen R., *On-machine tool prediction of flank wear from machined surface images using texture analyses and support vector regression*. Precision Engineering, vol. 43, p. 34–42, doi: 10.1016/j.precisioneng.2015.06.007, 2016

[DUT16b] Dutta S., Pal S. K., Sen R., *Progressive tool flank wear monitoring by applying discrete wavelet transform on turned surface images*. Measurement, vol. 77, p. 388–401, doi: 10.1016/j.measurement.2015.09.028, 2016

[ENA16] Enache, B., *Măsurători uzură cu scanerul 3D ATOS III Triple Scan Gom*. Firma Spectromas București, 09.2016

[ESC17] Escuder P., *Analytical Report*. Anton Paar TriTec SA, Rue de la Gare 4 (Galileo Center) 2034 Peseux, 19.10.2017, Switzerland (Anexa 7).

[GAN 06] Gangopadhyay, A., Barber, G., Zhao, H., *Tool wear reduction through an externally applied electrical current*. Wear 260, p. 549-553, 2006

[HIR 98] Hirota, H., Murata, M., Kojima, A., Yanagihara, K., *Relation between tool wear of face milling cutter and thermo-electric characteristics.* Seimitsu Kogaku Kaishi/Journal of the Japan Society for Precision Engineering 64, p. 1191-1195, 1998

[HUA07] Huang S. N., Tan K. K., Wong Y. S., de Silva C. W., Goh H. L., Tan W. W., *Tool wear detection and fault diagnosis based on cutting force monitoring*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 47, p. 444–451, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2006.06.011, 2007

[JOZ14] Jozic S., Lela B., Bajic D., *A New Mathematical Model for Flank Wear Prediction Using Functional Data Analysis Methodology*. Advances in Materials Science and Engineering, doi: 10.1155/2014/138168, 2014

[KAR16] Karam S., Centobelli P., D'Addona D. M., Teti R., *Online prediction of cutting tool life in turning via cognitive decision making*. Procedia CIRP, vol. 41, p. 927 – 932, doi: 10.1016/j.procir.2016.01.002, 2016

[KAR97] Karthik A., Chandra S., Ramamoorthy B., Das S., *3D tool wear measurement and visualisation using stereo imaging*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 37, no. 11, p. 1573-1581, doi: 10.1016/S0890-6955(97)00023-0, 1997

[KRU11] Kruth J.P. ş.a., *Computed Tomography for Dimensional Metrology*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volum 60, Issue 2, pag. 821-842, 2011

[KUL13] Kulandaivelu P., Kumar P. S., Sundaram S., *Wear monitoring of single point cutting tool using acoustic emission techniques*. Sadhana, vol. 38, no. 2, p. 211–234, 2013

[LEO19] Leonhardt, E., *Măsurători uzură 2D cu microscop digital și scanar 3D*. Hirox Europe, Demo metal, Brașov, 7.11.2019 (anexa 4).

[LI16] Li L., An Q., *An in-depth study of tool wear monitoring technique based on image segmentation and texture analysis*. Measurement, vol. 79, p. 44–52, doi: 10.1016/j.measurement.2015.10.029, 2016

[LIU13] Liu T. I., Song S. D., Liu G., Wu Z., *Online monitoring and measurements of tool wear for precision turning of stainless steel parts*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 65, p. 1397–1407, doi: 10.1007/s00170-012-4265-2, 2013

[MED14] Medison V.V., *Influence of Thermoelectric Current on the Tool Life in Cutting Titanium Alloys.* Russian Engineering Research, vol. 34, no. 4, p. 235–238, doi: 10.3103/S1068798X14040133, 2014

[MIH17] Mihail, L., *Măsurări ale uzurii plăcuțelor așchietoare din carbură metalică cu sistemul 2D Vision Measuring System Quick Image QI-A 2010B (Mitutoyo)*. Institutul de Cercetare-Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov, 04.2017

[MIN95] Minciu, C., ş.a., *Scule aşchietoare.* Îndrumar de proiectare, vol. I, Ed. tehnică, Bucureşti, 1995.

[MUR11] Murata, M., Kurokawa, S., Ohnishi, O., Uneda, M., Doi, T., *Characteristics of thermo-electromotive force, electric current and electric resistance in intermittent cutting process by face milling*. Advanced Materials Research, 314-316, 2011, p. 1075-1078

[MUR13] Murata, M., Kurokawa, S., Ohnishi, O., *In-process tool flank wear detection by using changes in the tool-work electrical contact resistance*. Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series C/Chung-Kuo Chi Hsueh Kung Ch'eng Hsuebo Pao, 79 (803), 2013, p. 2546-2557

[NOU16] Nouri Khajavi M., Nasernia E., Rostaghi M., *Milling tool wear diagnosis by feed motor current signal using an artificial neural network*. Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 30, no. 11, p. 4869–4875, doi: 10.1007/s12206-016-1005-9, 2016

[PAN93] Pan, H., An, B., Chen, Y., Orady, E., *Thermal EMF method for monitoring drilling tool wear*. Proc. SPIE2101, Measurement Technology and Intelligent Instruments 1373, 1993

[PIC92] Picoş, C., ş.a., *Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin așchiere, vol. I și II*. Editura Universitas, Chișinău, 1992.

[SID13] Siddhpura A., Paurobally R., *A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 65, p. 371–393, doi: 10.1007/s00170-012-4177-1, 2013

[SOM14] Soman, A., Anbarasan, N., Hareesh, P., Kuppan, P., *Experimental study on the effect of the electric current applied at the interface of cutting tool and workpiece for turning operation*. Procedia Engineering 97, 2014, p. 220-229

[STE93] Stephenson, D.A., *Tool–Work Thermocouple Temperature Measurements*. Theory and Implementation Issues, ASME, Journal of Engineering for industry, vol. 115, 1993

[TAN09] Tanaka, R., Lin, Y., Hosokawa, A., Ueda, T., Yamada, K., *Influence of Additional Electrical Current on Machinability of BN Free-Machining Steel in Turning*. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing, Vol. 3, No. 2, 2009, p. 171-178

[w1] http:*//ecatalog.mitutoyo.com/CRYSTA-Apex-EX-500T700T900T-PH20-Equipped-5-Axis-CNC-CMM-C1840.aspx*, accesat în 09.2016

[w2]http:*//www.directindustry.com/prod/hexagon-manufacturing-intelligence/product-5623-567450.html*, accesat în 09.2016

[w3] https:*//illustrationprize.com/ro/213-thermocouple.html*, accesat în 03.2017

[w4] https:*//physics.uvt.ro/~stef/Metode/S3-Termocuplul.pdf*, accesat în 11.2018

[w5] http:*//www.termo.utcluj.ro/termoluc/Lucr01/L1.html*, accesat în 11.2018

[w6]http:*// mail.uaic.ro/~ftufescu/CURS%20DCE-2%20Conductia%20electrica%20in%20solide%20m%20.pdf*, accesat în 11.2018

[w7] http:*//www.physics.pub.ro/Referate/BN119/Efectul_SEEBECK.pdf*, accesat în 11.2018

[w8] http:*//sfm.asm.md/ftm/vol9nr3-2%20fizica%20teoretica%20si%20matematica.pdf*, accesat în 11.2018

[w9] http:*//phys.ubbcluj.ro/~rote/lectures/c1_me.pdf*, accesat la 11.2018

[w10] https:*//www.ttonline.ro/revista/calitate-control/modele-constructive-ale-masinilor-de-masurat-in-coordonate-i*, accesat la 11.2019

[w11] http:*// micotop.ro/produse/masuratori-tridimensionale.html*, accesat la 11.2019

[WAN05] Wang W., Wong Y.S., Hong G.S., *Flank wear measurement by successive image analysis*. Computers in Industry, vol. 56, p. 816–830, doi: 10.1016/j.compind.2005.05.009, 2005

[WAN14] Wang G., Guo Z., Qian L., *Tool wear prediction considering uncovered data based on partial least square regression*. Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 28, no. 1, p. 317-322, doi: 10.1007/s12206-013-0982-1, 2014

[ZHA13] Zhang C., Zhang J., *On-line tool wear measurement for ball-end milling cutter based on machine vision.* Computers in Industry, vol. 64, p. 708–719, doi: 10.1016/j.compind.2013.03.010, 2013

[ZHU17] Zhu K., Yu X., *The monitoring of micro milling tool wear conditions by wear area estimation*. Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 93, p. 80–91, doi: 10.1016/j.ymssp.2017.02.004, 2017

SCURT REZUMAT AL TEZEI DE DOCTORAT

Scurt rezumat al tezei de doctorat în limba română

Conducător științific, Doctorand,
Prof. univ. dr. ing. Gheorghe OANCEA Ing. Raluca DIȚU (căs. DAICU)

Abordări inovative la așchierea metalelor

Din analiza fenomenelor care au loc la așchierea metalelor s-au identificat două dintre ele, uzarea sculei așchietoare și fenomenul electric, fenomene ce vor fi abordate inovativ. În urma analizei stadiului actual s-a constatat că nu există o abordare unitară a măsurării uzurii sculei așchietoare și nu se indică erorile de măsurare cu diverse mijloace alternative. Totodată, curentul electric de așchiere, are puține aplicații industriale și în consecință poate genera aplicații inovative.

Abordând uzura sculei așchietoare, se propune elaborarea unei metodologii unitare de măsurare a uzurii tăișului așchietor, se optimizează pasul măsurătorilor, se determină eroarea umană de măsurare și se aplică, comparativ, metodologia propusă la măsurarea uzurii cu mijloace alternative. S-a constatat că dacă se aplică metodologia de măsurare, indiferent de mijlocul de măsurare a uzurii, se obțin rezultate comparabile.

Analiza curentului electric de așchiere la burghiere a condus, inovativ, la elaborarea unei metodologii de apreciere a calității unui lot de burghie, la achiziționarea inovativă a burghielor, la o abordare economică a achiziționării burghielor și la identificarea aspectului ecologic al experimentelor. Totodată, utilizând curentul electric de așchiere s-a apreciat eficacitatea intrării line în așchiere a burghiului.

La strunjire, folosind curentul electric de așchiere s-a elaborat o tehnică de apreciere a calității plăcuțelor așchietoare și s-a optimizat regimul de așchiere având ca scop minimizarea tensiunii curentului electric de așchiere.

Brief summary of the doctoral thesis in English Language

Advizor, Phd. Candidate,
Prof. univ. dr. eng. Gheorghe OANCEA eng. Raluca DIȚU (căs. DAICU)

Innovative Approaches to Metal Cutting

From the analysis of the phenomena that take place when cutting metals, two of them were identified and approached innovatively, the wear of the cutting tool and the electrical phenomenon. Following the analysis of the current state, it was found that there is no uniform approach to measuring the cutting tool wear and there are not indicated the measurement errors with alternative means. At the same time, the electrical current at cutting has few industrial applications and, in consequence, it can generate innovative applications.

Aproaching the wear of the cutting tool, it is proposed the development of a unitary methodology for measuring the wear of the cutting edge, the optimization of the the increment of measurement, the determination of the human measurement error and the application, comparatively, of the proposed methodology for measuring wear by alternative means. It was found that if the measurement methodology is applied, regardless of the means of measuring wear, comparable results are obtained.

The analysis of the electrical current at drilling led, innovatively, to the elaboration of a methodology for assessing the quality of a drill batch, to the innovative acquisition of drills, to an economic approach to the acquisition of drills and to the identification of the ecological aspect of experimental tries. At the same time, using the electric current at cutting, the efficiency of the smooth entrance in the cutting of the drill was appreciated.

When turning, using the electrical current, a technique for assessing the quality of the cutting inserts was developed and the cutting regime was optimized with the aim of minimizing the voltage of the electrical current.

Curriculum vitae (în limba română)

Raluca Dițu (căs. Daicu)

Informații personale:

Adresă de e-mail: raluca.daicu@unitbv.ro

Educație și formare:

Tipul de formare: Ciclul III – studii universitare de doctorat – doctorand cu frecvență
Perioada: 2014 – prezent
Instituția de învățământ: Universitatea "Transilvania" din Brașov
Departamentul: Ingineria Fabricației
Domeniul: Inginerie Industrială
Domeniul fundamental: Științe Inginerești

Tipul de formare: Ciclul II – studii universitare de masterat – masterand cu frecvență
Perioada: 2012 – 2014
Instituția de învățământ: Universitatea "Transilvania" din Brașov
Departamentul: Inginerie și Management
Domeniul: Management Industrial
Facultatea: Inginerie Tehnologică și Management Industrial
Specializarea: Managementul Afacerilor Industriale

Tipul de formare: Ciclul I – studii universitare de licență – student cu frecvență
Perioada: 2008 – 2012
Instituția de învățământ: Universitatea "Transilvania" din Brașov
Departamentul: Inginerie și Management
Domeniul: Management Industrial
Facultatea: Inginerie Tehnologică și Management Industrial
Specializarea: Inginerie economică industrială

Experiență profesională:

Ocupație conform fișei postului: programator
Perioada: 2019 – prezent
Compania: SC Siemens Industry Software S.R.L.

Ocupație conform fișei postului: cadru didactic asociat
Perioada: 2016 – prezent
Compania: Universitatea "Transilvania" din Brașov

Ocupație conform fișei postului: inginer optimizări procese
Perioada: 2013 – 2015
Compania: SC Premium-Aerotec S.R.L.

Curriculum Vitae (in english language)

Raluca Dițu (căs. Daicu)

Personal information:

E-mail address: raluca.daicu@unitbv.ro

Education and training:

Type: 3rd cycle – PhD universitary studies – PhD studies
Period: 2014 – prezent
Education institution: "Transilvania" University of Brașov
Department: Manufacturing Engineering
Domain: Industrial Engineering
Fundamental Domain: Engineering Sciences

Type: 2nd cycle – MSc universitary studies – MSc student
Period: 2012 – 2014
Education institution: "Transilvania" University of Brașov
Department: Engineering and Management
Domain: Industrial Management
Faculty: Technological Engineering and Industrial Management
Study program: Industrial Business Management

Type: 1st cycle – BSc universitary studies – BSc student
Period: 2008 – 2012
Education institution: "Transilvania" University of Brașov
Department: Engineering and Management
Domain: Industrial Management
Faculty: Technological Engineering and Industrial Management
Study program: Economical engineering

Professional experience:

Occupation: programmer
Period: 2019 – prezent
Company: SC Siemens Industry Software S.R.L.

Occupation: associate professor
Period: 2016 – prezent
Company: "Transilvania" University of Brașov

Occupation: process optimization engineer
Period: 2013 – 2015
Company: SC Premium-Aerotec S.R.L.